



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

TESIS DOCTORAL

# RED DE NAVEGACIÓN DE INTERIORES PARA LA TECNOACCESIBILIDAD.

AUTOR:

ANA BELÉN PABÓN DUEÑAS

DIRECTORES:

FRANCISCO DE PAULA MONTES TUBÍO  
SALVADOR MERINO CÓRDOBA

PROGRAMA DE DOCTORADO UNIVERSIDAD DE  
CÓRDOBA

DEPT. INGENIERÍA GRÁFICA E INGENIERÍA DE  
INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

CÓRDOBA, JUNIO 2017

TITULO: *Red de navegación de interiores para la tecnoaccesibilidad*

AUTOR: *Ana Belén Pabón Dueñas*

---

© Edita: UCOPress. 2017  
Campus de Rabanales  
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A  
14071 Córdoba

[www.uco.es/publicaciones](http://www.uco.es/publicaciones)  
[publicaciones@uco.es](mailto:publicaciones@uco.es)

---





**TÍTULO DE LA TESIS:** “Red de navegación de interiores para la tecnoaccesibilidad.”.

**DOCTORANDA:** Ana Belén Pabón Dueñas.

### **INFORME RAZONADO DEL DIRECTOR DE LA TESIS**

D. FRANCISCO DE PAULA MONTES TUBÍO, Catedrático de la Universidad de Córdoba. Departamento de Ingeniería Gráfica y Geomática.

D. SALVADOR MERINO CÓRDOBA, Profesor Titular de la Universidad de Málaga. Departamento de Matemáticas Aplicadas.

### **INFORMAN:**

Que la Tesis Doctoral titulada “Red de navegación de interiores para la tecnoaccesibilidad”, de la cual es autora Dña. Ana Belén Pabón Dueñas, ha sido realizada bajo nuestra dirección y cumple todos los requisitos para su publicación y defensa exigidos por la legislación vigente para optar al Título de Doctora por la Universidad de Córdoba.

El desarrollo del presente trabajo de investigación se ha llevado a cabo realizando primeramente una profunda labor de búsqueda en el campo del posicionamiento y las tecnologías de comunicación inalámbricas. En segundo lugar se presenta el desarrollo de un Modelo de Utilidad para la tecnoaccesibilidad, estudiando su alcance en el mercado actual. La tesis se ha completado con la presentación de un algoritmo cuya finalidad es obtener la solución óptima en el trazado de recorridos dentro de un edificio. Resultando de ello un completo trabajo de investigación en el que se ha profundizado en el conocimiento de las redes de navegación en interiores.

La tesis hace numerosos descubrimientos y aportaciones originales, gracias a la combinación de ambas facetas del proceso de investigación y aplicación práctica.

La presente tesis ha dado lugar a la obtención de Modelo de Utilidad, publicado por el Ministerio de Industria Energía y Turismo, en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial (BOPI). Modelo de Utilidad con número de publicación ES1082629 U20, titulado: Dispositivo electrónico para guiado de personas en el interior de un edificio, cuyo nombre comercial asignado es PATHER.



Se ha publicado un artículo de alto impacto en la revista *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, cuya referencia es:

VERA, J. A.; PABÓN, A. B.; LIÑAN, R. J.; MERINO, S. (2014). “System Optimization Courier and Parcel in Cities.” *Revista Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 2014, vol. 160, p. 577-586.

Además de haber participado como ponente en numerosos congresos nacionales e internacionales:

PABÓN, A. B.; VERA, J. A.; LIÑAN, R. J.; MERINO, S. (2016). “PATHER and GPS together to improve transport efficiency.” XII Congreso de Ingeniería del Transporte, Valencia. 2016

PABÓN, A. B.; VERA, J. A.; LIÑAN, R. J.; MERINO, S. (2015). “PATHER. Garantía de calidad de vida.” Firts International Conference on Smart Homes & Urban Renewal, Málaga. 2015.

PABÓN, A. B.; MERINO, S. ROGRIGUEZ, P.; (2013). “Numerical algorithm solves for a new positioning system.” *Proceedings of Applications of Computer Algebra ACA*, Málaga. 2013.

VERA, J. A.; PABÓN, A. B.; LIÑAN, R. J.; MERINO, S. (2015). “Optimización del Servicio Postal Universal en ciudades.” Firts International Conference on Smart Homes & Urban Renewal, Málaga. 2015.

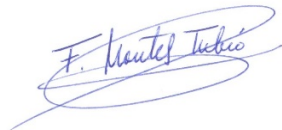
VERA, J. A.; PABÓN, A. B.; LIÑAN, R. J.; MERINO, S. (2016). “Efficient postal service and respectful with the environment.” XII Congreso de Ingeniería del Transporte, Valencia. 2016

LIÑAN, R. J.; BERENGUER, F. J.; MERINO, S.; VERA, J. A.; PABÓN, A. B.; CABRERA, V.; FERNÁNDEZ, J. (2015). “Optimización matemática para la planificación y el diseño de carriles bici.” Firts International Conference on Smart Homes & Urban Renewal, Málaga. 2015.

LIÑAN, R. J.; BERENGUER, F. J.; MERINO, S.; VERA, J. A.; PABÓN, A. B.; CABRERA, V. (2015). “Aplicación metodológica de ubicación de bancadas de bici pública. Servicio MUyBICI de Murcia.” Firts International Conference on Smart Homes & Urban Renewal, Málaga. 2015.

Por todo ello, SE AUTORIZA presentar esta Tesis ante la Comisión de Doctorado de la Universidad de Córdoba, quedando firmado este informe a día veintiocho de Junio de 2017.

Los directores:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'F. Montes Tubío', enclosed within a large, loopy oval flourish.

D. Francisco Montes Tubío.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Salvador Merino', enclosed within a large, loopy oval flourish.

D. Salvador Merino Córdoba.



*Dedicado a quienes les dijeron  
que no podrían y lo hicieron*



# Resumen

Al igual que se considera relevante la navegación peatonal autónoma en exteriores, la demanda en interior de edificios empieza a cobrar cada vez mas importancia. La inclusión de los espacios interiores a la hora de trazar trayectos aporta información imprescindible para calcular con mayor precisión los recorridos y tiempos completos de los desplazamientos. Se tiene en cuenta que ambos tipos de trayecto (exteriores e interiores), son consumidores de un mismo recurso como es el tiempo. Dado que la mayor parte de la vida de una persona transcurre dentro de un edificio, se asume que las posibles situaciones generadas en el interior de los edificios, son tan importantes, o incluso de mayor relevancia, que las que ocurren en el exterior.

Pero la realidad es que la información que nos proporciona el GPS, está limitada a espacios exteriores. Justo en el momento en que se accede a un edificio se debilita la señal, llegando incluso a ser nula. Dicho motivo a sido la base de la presente tesis de investigación. Es interesante la creación de una nueva red de navegación interior destinada a los usuarios de cada uno de los edificios. Esta es capaz de proporcionar a cada consumidor información sobre su posicionamiento en tiempo real con una exactitud suficientemente adecuada.

En la presente tesis se ha revisado en profundidad, el estado del arte en el campo del posicionamiento exterior e interior. Estudiando cada una de las tecnologías de comunicación inalámbrica existentes que las componen.

Se define el sistema PATHER como modelo de utilidad, estudiando el alcance del sistema según sus aplicaciones. Con el objetivo de buscar el camino óptimo, en el trazado de rutas interiores, se estudian las condicionantes o restricciones intervinientes. Con ello

se alcanza la solución óptima en el trazado de recorridos. Para ello se define el modelo de optimización a partir del diseño completo de la red creada. Dicho modelo planteado es capaz de optimizar las infraestructuras correspondientes, de cada uno de los caminos que forman los itinerarios dentro de los edificios. Minimizando la distancia total de cada uno de los recorridos, configurando un modelo con respecto a la accesibilidad, seguridad y control de aglomeraciones en los edificios.

Por último se aplica la metodología de la investigación propuesta en un caso real.

# Abstract

As outdoor pedestrian navigation is considered to be relevant, indoor demand for buildings is becoming more and more important. The inclusion of the interior spaces when plotting provides essential information to calculate more accurately the routes and complete times of the journeys. It is taken into account that both types of route (exterior and interior), are consumers of the same resource as is the time. Since most of a person's life is spent inside a building, it is assumed that the possible situations generated inside buildings are as important or even more relevant than those occurring outside.

But the reality is that the information that GPS provides us, is limited to outdoor spaces. Just when a building is accessed, the signal is weakened, even to zero. This reason has been the basis of the present investigation thesis. It is interesting to create a new internal navigation network for the users of each of the buildings. This is able to provide each consumer with information about their positioning in real time with a sufficiently adequate accuracy.

In the present thesis has been reviewed in depth, the state of the art in the field of exterior and interior positioning. Studying each of the existing wireless communication technologies that compose them.

The PATHER system is defined as a utility model, studying the scope of the system according to its applications.

In order to look for the optimum path, in the tracing of interior routes, the conditioning factors or restrictions are studied. This provides the optimum solution



in route planning. For this, the optimization model is defined based on the complete design of the network created. Said model is capable of optimizing the corresponding infrastructures of each of the roads that form the itineraries within the buildings. Minimizing the total distance of each of the routes, configuring a model with respect to accessibility, safety and control of agglomerations in buildings.

Finally, the methodology of the proposed research is applied in a real case.

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
1.1. Motivaciones . . . . .	7
1.2. Objetivos . . . . .	8
1.3. Metodología . . . . .	10
1.4. Estructura de la tesis . . . . .	11
<b>2. Estado del arte</b>	<b>13</b>
2.1. Introducción a los sistemas de posicionamiento Exterior (EPS) . . . . .	15
2.1.1. Aplicaciones de los EPS . . . . .	17
2.1.2. Limitaciones de los EPS . . . . .	17
2.2. Los Sistema de Posicionamiento Interior (IPS) . . . . .	19
2.2.1. Comunicaciones inalámbricas . . . . .	21
2.2.2. Descripción de los Sistemas de Posicionamiento Interior . . . . .	23
2.2.3. Etiquetas RFID . . . . .	24
2.2.4. Posicionamiento Wi-Fi . . . . .	26
2.2.5. Balizas Bluetooth . . . . .	29
2.2.6. VLC . . . . .	31
2.2.7. LiFi . . . . .	34
2.2.8. LiFi frente a WiFi . . . . .	35
2.3. Planificación Urbana y construcción de Smart Cities . . . . .	37
2.4. Smart Buildings . . . . .	39
2.5. Uso de la red en Smart Buildings . . . . .	40
2.6. Sistema PATHER en Smart Buildings . . . . .	41

<b>3. Sistema PATHER</b>	<b>43</b>
3.1. Introducción al Sistema PATHER . . . . .	45
3.1.1. Que es el Sistema PATHER: Objeto de la invención . . . . .	45
3.1.2. Antecedentes del Sistema PATHER . . . . .	46
3.1.3. Descripción del Sistema PATHER . . . . .	48
3.1.4. Diseño conceptual . . . . .	51
3.2. PATHER y la tecnología PLC . . . . .	53
3.3. Uso del Sistema PATHER . . . . .	57
3.3.1. Motivaciones . . . . .	58
3.3.2. Factores favorables al uso del sistema PATHER . . . . .	59
3.3.3. Factores disuasorios y soluciones propuestas. . . . .	61
3.3.4. Aplicaciones del sistema PATHER . . . . .	63
<b>4. Optimización de recorridos</b>	<b>79</b>
4.1. Introducción a la teoría de grafos . . . . .	81
4.2. Modelos de red de navegación y tránsito . . . . .	81
4.2.1. Red . . . . .	82
4.2.2. Demanda . . . . .	83
4.3. Búsqueda del camino óptimo. . . . .	84
4.3.1. Búsqueda del camino óptimo multiobjetivo . . . . .	85
4.3.2. Principales algoritmos para Problemas del camino óptimo. . . . .	86
4.4. Algoritmos de resolución: Dijkstra . . . . .	88
4.4.1. Formulación del algoritmo Dijkstra . . . . .	88
4.4.2. Distancia de Minkowski . . . . .	91
4.5. Optimización: Función objetivo y restricciones . . . . .	95
4.5.1. Optimización multiobjetivo . . . . .	97
<b>5. Tratamiento de datos</b>	<b>107</b>
5.1. Introducción . . . . .	109
5.2. Introducción a la EII . . . . .	109
5.2.1. Descripción del edificio . . . . .	110
5.3. Infraestructura de red interior . . . . .	114

<b>6. Modelo de optimización propuesto</b>	<b>117</b>
6.1. Introducción . . . . .	119
6.2. Formulación . . . . .	119
6.3. Modelo de optimización . . . . .	124
6.3.1. Fuentes de dificultad del problema . . . . .	126
6.3.2. Modelo propuesto de optimización . . . . .	126
<b>7. Aplicación del caso práctico</b>	<b>137</b>
7.1. Introducción . . . . .	139
7.2. Descripción del caso de estudio . . . . .	139
7.3. Aplicación del modelo de optimización . . . . .	139
7.3.1. Aplicación caso práctico 1 . . . . .	140
7.3.2. Aplicación caso práctico 2 . . . . .	143
7.3.3. Aplicación caso práctico 3 . . . . .	145
7.3.4. Resumen de los casos prácticos presentados . . . . .	147
<b>8. Conclusiones y líneas de investigación futuras</b>	<b>151</b>
8.1. Conclusiones . . . . .	153
8.2. Líneas de investigación futuras . . . . .	153
<b>Bibliografía</b>	<b>155</b>
<b>Anexos</b>	<b>162</b>
<b>I. Tramitación del Modelo de Utilidad.</b>	<b>163</b>
<b>II. Consulta Descriptiva y Gráfica de Datos Catastrales de Bien Inmueble.</b>	<b>165</b>



# Índice de figuras

3.1. Previsión de Conexión Iot para el año 2020 . . . . .	58
4.1. Problema de Königsberg. Euler, L. 1736. . . . .	81
4.2. Grafo ejemplo de Dijkstra . . . . .	89
4.3. Ir del punto A al B en El Ensanche de Barcelona. . . . .	92
4.4. Ir del punto A al B en El Ensanche de Barcelona. . . . .	93
4.5. Ir del punto A al B en El Ensanche de Barcelona. . . . .	94
4.6. Esquema de frente de Pareto . . . . .	100
5.1. Fachada principal de la Escuela de Ingenierías Industriales (UMA). . . .	109
7.1. Caso práctico 1.1: Planta Baja. Longitud. Elaboración propia. . . . .	141
7.2. Caso práctico 1.2: Planta Baja. Longitud-Accesibilidad. Elaboración propia.	142
7.3. Caso práctico 1.3: Planta Baja. Aglomeración de personas. Elaboración propia. . . . .	142
7.4. Caso práctico 1.3: Planta Baja. Longitud-Ancho de pasillo-Aglomeración. Elaboración propia. . . . .	143
7.5. Caso práctico 2.1: Planta Primera. Longitud. Elaboración propia. . . . .	143
7.6. Caso práctico 1.2: Planta Primera. Longitud-Accesibilidad. Elaboración propia. . . . .	144
7.7. Caso práctico 1.3: Planta Baja. Longitud-Ancho de pasillo-Aglomeración. Elaboración propia. . . . .	145
7.8. Caso práctico 2.1: Planta Baja-Primera. Longitud-Tiempos. Elaboración propia. . . . .	146
7.9. Caso práctico 1.2: Planta Primera. Longitud-Accesibilidad. Elaboración propia. . . . .	146

7.10. Caso práctico 1.3: Planta Baja. Longitud-Ancho de pasillo-Aglomeración.

Elaboración propia. . . . .	147
-----------------------------	-----

# Índice de cuadros

5.1. Superficie construida EII (UMA) <sup>101</sup> . . . . .	112
5.2. Zonas en las que se divide EII (UMA) <sup>101</sup> . . . . .	113
6.1. Criterios: Tipo de desplazamiento según el número de plantas a atravesar. Elaboración propia. . . . .	129
6.2. Grado de seguridad según tipo de usuario. Elaboración propia. . . . .	130
6.3. Características mínimas para la creación de RIA. Elaboración propia. . . .	132
6.4. Restricción: Anchura de pasillo o paso ( <i>ap</i> ). Elaboración propia. . . . .	133
6.5. Restricción: Anchura escalera. . . . .	134
6.6. Restricción: Anchura meseta escalera ( <i>am</i> ). Elaboración propia. . . . .	134
6.7. Restricción: Tamaño de cabina de ascensor ( <i>ta</i> ). Elaboración propia. . . .	134
6.8. Restricción: Grados de aglomeración de personas ( <i>pc</i> ). Elaboración propia.	135
7.1. Elementos de interpretación la red de navegación EII. Elaboración propia.	140





# Abreviaturas

AP	Access Point.
CTE	Código Técnico de la Edificación.
EII	Escuela de Ingenierías Industriales.
EPS	Sistemas de posicionamiento Exterior.
GLONASS	Sistema Global de Navegación por Satélite.
GNSS	Global Navigation Satellite System.
GPS	Global Positioning System.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
IoT	Internet de las cosas.
IPS	Indoor Positioning System.
LEDs	Light-Emitting Diode.
PCO	Problema de Búsqueda de Camino Óptimo.
PLC	Power Line Communications.
RFID	Radio Frequency IDentification.
RTLS	Real-Time Locating System.
VLC	Visible Light Communications.
WLAN	Wireless Local Area Network.
WPAN	Wireless Personal Area Network.



# 1

## Introducción

### Índice

1.1. Motivaciones . . . . .	7
1.2. Objetivos . . . . .	8
1.3. Metodología . . . . .	10
1.4. Estructura de la tesis . . . . .	11



A lo largo de las últimas décadas la evolución, transformación y desarrollo de la tecnología, así como el uso de Internet, se han producido a un ritmo vertiginoso. Y este proceso está abanderado por la sociedad de la información y la comunicación, en la cual todos estamos inmersos.

En diciembre de 2003 se celebró en Ginebra (Suiza) la primera Cumbre Mundial sobre la Sociedad de la Información (CMSI), donde se firmaron tanto la Declaración de Principios como el Plan de Acción. Ambos fueron tratados nuevamente en una segunda cumbre celebrada en noviembre de 2005 en Túnez. La famosa declaración, más conocida como “La Declaración de Principios de Ginebra ”<sup>90</sup>, donde se anunciaba la Sociedad de la información como una nueva era y se la distinguía abiertamente como la Sociedad del Conocimiento a la que se esperaba llegar en el futuro. fue la siguiente:

« Tenemos la firme convicción de que estamos entrando colectivamente en una nueva era que ofrece enormes posibilidades, la era de la Sociedad de la Información y de una mayor comunicación humana. En esta sociedad incipiente es posible generar, intercambiar, compartir y comunicar información y conocimiento entre todas las redes del mundo. Si tomamos las medidas necesarias, pronto todos los individuos podrán juntos construir una nueva Sociedad de la Información basada en el intercambio de conocimientos y asentada en la solidaridad mundial y un mejor entendimiento mutuo entre los pueblos y las naciones. Confiamos en que estas medidas abran la vía hacia el futuro desarrollo de una verdadera sociedad del conocimiento..»<sup>65</sup>

Entre los principales retos de la tecnología actual se considera de vital importancia mejorar progresivamente la comunicación en tiempo real de personas que se encuentran a cualquier distancia. En esa línea hemos de tener en cuenta que la sociedad de la información no se encuentra condicionada solo a Internet, aunque esté desempeñe un papel fundamental. De ahí que, como apoyo a la resolución de dicho reto, destaquemos la generalización de los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS del termino en inglés Global Navigation Satellite System) que proporcionan a los usuarios información sobre la posición y la hora (cuatro dimensiones) con una gran exactitud, estando situado en cualquier parte del mundo, y durante las 24 horas del día<sup>26</sup>.

Si se analiza la cantidad y variedad de información de las que se dispone hoy, gracias al uso de los sistemas de posicionamiento, en el exterior de cualquier instalación, y se compara con la información casi inexistente del interior de los edificios, llegamos a la conclusión de que este desequilibrio debe ser resuelto. Es de la necesidad de resolver esta situación de aislamiento posicional de donde realmente nace el proyecto PATHER<sup>80</sup>.

Al igual que se considera relevante la navegación peatonal autónoma en exteriores, la demanda en interior de edificios empieza a cobrar cada vez más importancia<sup>61</sup>. La inclusión de los espacios interiores a la hora de trazar trayectos aporta información imprescindible para calcular con mayor precisión los recorridos y tiempos completos de los desplazamientos. Se tiene en cuenta que ambos tipos de trayecto (exteriores e interiores), son consumidores de un mismo recurso como es el tiempo. Dado que la mayor parte de la vida de una persona transcurre dentro de un edificio, se asume que las posibles situaciones generadas en el interior de los edificios, son tan importantes, o incluso de mayor relevancia, que las que ocurren en el exterior.

La necesidad cotidiana de los ciudadanos de desplazarse para realizar diferentes actividades, sea cual sea su naturaleza, se ha visto modificada en gran medida por las nuevas tecnologías. La información proporcionada por los GNSS, en consonancia con la obtenida gracias al uso de los Sistema de Posicionamiento Interior en inglés Indoor Positioning System (IPS), genera una serie de ventajas que desembocan en la localización total.

Los primeros pasos para el desarrollo de los IPS fueron dados con el objetivo de facilitar la vida de las personas invidentes. Actualmente el fomento o incremento de la movilidad urbana en las ciudades y la construcción de grandes edificios causan nuevas necesidades. Todas y cada una de las iniciativas en cuanto a IPS, desarrolladas en los últimos tiempos, tienen una idéntica finalidad: crear un IPS eficaz, útil con unas garantías de seguridad altas.

En esta tesis se analiza la evolución de los IPS, con el objetivo de conseguir finalmente una herramienta que facilite a los usuarios la optimización de la planificación y gestión de los desplazamientos realizados el interior de edificios. Seguidamente se

plantea la navegación peatonal autónoma en interiores, la cual se realiza con el uso de sensores independientes. Estos sensores son a menudo conocidos como balizas (en inglés Beacons) y no dependen de la recepción de información externa, a diferencia de la señal recibida por los Sistemas de Posicionamiento Global, más conocidos por sus siglas en inglés como GPS (Global Positioning System). La utilización de estos sensores se basa en un concepto de posicionamiento relativo entre la ubicación inicial y el cambio dinámico del usuario que se desplaza. Los sensores detectan el cambio de velocidad y después de la integración, se agrega a la posición anterior para obtener la posición actual en cada momento.<sup>?</sup>

## 1.1. Motivaciones

A principios de los años 70, el departamento de defensa de los Estados Unidos de América, iniciaba el desarrollo de los primeros sistemas de posicionamiento con el objetivo de cubrir necesidades militares. Sin embargo estos GNSS han evolucionado admirablemente y han adquirido un papel fundamental en el día a día de la sociedad civil<sup>23</sup>. Algunos de los motivos a destacar que han impulsado el uso generalizado de los GNSS, son:

- La irrupción de los dispositivos electrónicos portátiles, como los teléfonos inteligentes o Smartphones, y la permanente conexión a Internet a través de ellos.
- La mejora de las redes de telecomunicaciones y la fuerte y constante inversión en ellas.
- La progresiva implantación de los GNSS, como el anteriormente mencionado GPS, de los que ya hace tiempo que paso el periodo de adaptación y actualmente forman parte de nuestras vidas. Millones de personas y empresas tienen la necesidad de utilizarlo a diario para moverse por las ciudades de todo el mundo, ser localizadas, o ubicar diversos objetos u otras personas. Y todo gracias a un sencillo manejo que en su mayoría se realiza a través de aplicaciones específicamente desarrolladas para esta función.



Pero la realidad es que la información que nos proporciona el GPS, está limitada a espacios exteriores. Justo en el momento en que se accede a un edificio se debilita la señal, llegando incluso a ser nula. Por lo tanto se puede concluir que:

Es interesante la creación de una nueva red interior destinada a los usuarios de cada uno de los edificios. Ésta puede proporcionar a cada consumidor información sobre su posicionamiento en tiempo real con una exactitud suficientemente adecuada.

Actualmente se comienzan a instalar algunos IPS en una selección muy escasa de edificios alrededor del mundo, y la realidad es que convivimos con una situación de déficit. Esta escasez de implantaciones llevo a un grupo de investigadores pertenecientes a las Universidades de Córdoba y Málaga, a plantear la resolución de la misma. Con el objetivo de dar respuesta al mercado global, se ha desarrollado este nuevo sistema de localización en tiempo real (en inglés Real-Time Locating System o RTLS) al que se le denomina PATHER<sup>1</sup>. En estas investigaciones se han estudiado las tecnologías existentes<sup>53</sup>, se han analizado las posibles desviaciones de las señales y se han aplicado los métodos de corrección adecuados. Y todo ello pensando, no solo en la situación actual de cualquier edificio, sino también desde el punto de vista de los edificios inteligentes tanto presentes como futuros.

Este proyecto se ciñe a unas normativas, directrices y recomendaciones con el objetivo de llevar a cabo este tipo de tecnología. Su finalidad es establecer las bases para una correcta implementación del sistema PATHER, de una manera objetiva, rentable, segura y atractiva para todos los usuarios, creando un diseño que pueda ser aplicado en cualquier edificio independientemente de su dimensión, antigüedad y uso.

## 1.2. Objetivos

Algunas de los desarrollos IPS se crean con el objetivo de ayudar a personas invidentes. Por el contrario PATHER se plantea como una tecnología para la sociedad en

---

<sup>1</sup>A partir de la palabra inglesa "path" (camino, ruta) se forma el término "pather". Se entendería como "encaminador, enrutador" o "el que te ayuda a caminar, el que te guía" por su similitud semántica con "father" (padre)

general. Diseñado para que sea un elemento integrador y no diferenciador de colectivos, éste puede ser utilizado por cualquier ciudadano, independientemente de su condición o dificultad física. Se describe como objetivo principal de esta tesis la obtención de una herramienta cuya finalidad sea la optimización de recorridos. Para ello es primordial que actualice la información en tiempo real del posicionamiento dentro del edificio donde se implanta y que, paralelamente, ofrezca la mejor alternativa para el usuario final. Y lo que es aun más importante, que pueda tener en cuenta tanto las limitaciones de cada individuo en particular, incorporadas a través de las preferencias de cada usuario del sistema, como las circunstancias reales de aglomeración de personas dentro del edificio en el momento de navegación.

Para la obtención de rutas realmente fiables, se hace un análisis de los algoritmos más eficientes aplicando teoría de grafos. Además se plantea el uso de la inteligencia artificial como método para perfeccionar el trazado de rutas, que finalmente llevaran al destino elegido. Estas rutas estarán basadas en procedimientos de optimización matemática.

Para crear la herramienta PATHER es necesario cumplir un conjunto de objetivos específicos que definan las etapas de trabajo y que, finalmente, lleven a la consecución del proyecto. Estos objetivos específicos serían los siguientes:

- Objetivo 1: Realizar una revisión del estado del arte en el campo del posicionamiento exterior e interior. Estudiar cada una de las tecnologías de comunicación inalámbrica existentes y porqué se aplican en estos sistemas.
- Objetivo 2: Definir el sistema PATHER como modelo de utilidad (cara a su patentabilidad).
- Objetivo 3: Estudiar el alcance del sistema PATHER según sus aplicaciones.
- Objetivo 4: Buscar el camino óptimo, definiendo previamente sus condicionantes o restricciones. Para ello hay que especificar cada una de las variables que intervienen en el estudio y que afectan a los resultados de la investigación. Con ello se alcanzará la solución óptima en el trazado de recorridos.
- Objetivo 5: Definir el modelo de optimización a partir del diseño completo de la red creada. El modelo planteado debe ser capaz de optimizar las tipologías de infraes-

estructuras correspondientes, de cada uno de los caminos que forman los itinerarios dentro de los edificios. Para ello deberá minimizar la distancia total de cada uno de los recorridos, teniendo como restricciones las características físicas de la red y la variabilidad de la configuración del modelo con respecto a la accesibilidad, seguridad y control de aglomeraciones entre otras.

- Objetivo 6: Aplicar la metodología de la investigación propuesta en un caso real. Se ha realizado una aplicación práctica en la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Málaga.
- Objetivo 7: Comprobar los resultados y extraer las conclusiones de los trabajos e investigaciones aplicados en el caso real, incidiendo en aquellos resultados que puedan generar nuevas herramientas para la elaboración de políticas de fomento del uso del Sistema PATHER.

### 1.3. Metodología

La metodología para la consecución de los anteriores objetivos se ha estructurado en distintos bloques.

En el primero se realizará el estudio y análisis de la literatura científica relacionada con los factores claves de los sistemas de posicionamiento exteriores e interiores y se asociarán los factores motivadores para el incremento del uso de los sistemas de posicionamiento interior. Todo ello definirá la infraestructura necesaria para la implantación del sistema PATHER en los edificios y mejorará sus percepciones de utilidad y seguridad por parte de los usuarios.

En un segundo bloque se presentará la programación matemática basada en la optimización de una red de posicionamiento interior, capaz de ofrecer diferentes alternativas a partir de la modificaciones de las restricciones establecidas. Dichas características son las propias del entramado de los edificios. Además, tendrá en cuenta la influencia directa del conjunto de variables relacionadas con la seguridad del diseño de los "caminos". Se seguirá con la combinación de estas variables para realizar el modelo de simulación propuesto. Su finalidad será la de formar una herramienta con multitud de posibilidades

de aplicación que permitan la implantación en edificios tanto existentes como de nueva construcción.

Finalmente, la metodología desarrollada ha sido aplicada al estudio y optimización de las infraestructuras que formarán parte de la Escuela de Ingenierías Industriales sita en el municipio de Málaga (España). Para ello se exponen diferentes casos prácticos que han servido para la exploración de las variables influyentes en el diseño del trabajo final.

## 1.4. Estructura de la tesis

El contenido de la tesis se ha dividido en 8 capítulos. El primero y presente capítulo describe las motivaciones que han derivado en la realización de esta tesis, además de enumerar los diferentes objetivos y metodología desarrollada, y en él se hace una breve descripción del conjunto de capítulos que componen el documento.

En el **capítulo 2** se presenta una introducción de los GNSS actuales ya implantados y se presentan los más recientes IPS. Se da a conocer el papel que representa PATHER entre todos los sistemas anteriormente descritos. Además, se analizan las tecnologías inalámbricas del presente y futuro, con especial atención a sus limitaciones de velocidad, calidad y seguridad para su uso en RTLS.

El **capítulo 3** aborda el sistema PATHER en concreto. Se realiza un análisis de las características de la red interior creada y los posibles usos.

En el **capítulo 4** se describe la teoría de grafos empleada para la optimización de recorridos de la red interior a plantear.

En el **capítulo 5** se describe la metodología seguida para el tratamiento y realización de la base de datos relacionada con la infraestructura. Aplicándola a la Escuela de Ingenierías Industriales, que es la base de la futura optimización de la red de interior para el sistema PATHER.

En el **capítulo 6** se describe el modelo de optimización propuesto, en aras del diseño y planificación de las rutas para el sistema PATHER. Este modelo está condicionado por sus respectivas restricciones y coeficientes de ponderación, que afectan directa o indirectamente al diseño óptimo de la ruta interior.

En el **capítulo 7** se muestra la aplicación práctica del sistema PATHER, obteniéndose los diferentes caminos o redes optimizadas.

Finalmente, en el **capítulo 8** se recogen las conclusiones extraídas sobre el resultado final del trabajo realizado y las propuestas de las futuras líneas de investigación.

## 2

# Estado del arte

## Índice

---

<b>2.1. Introducción a los sistemas de posicionamiento Exterior (EPS)</b>	<b>15</b>
2.1.1. Aplicaciones de los EPS	17
2.1.2. Limitaciones de los EPS	17
<b>2.2. Los Sistema de Posicionamiento Interior (IPS)</b>	<b>19</b>
2.2.1. Comunicaciones inalámbricas	21
2.2.2. Descripción de los Sistemas de Posicionamiento Interior	23
2.2.3. Etiquetas RFID	24
2.2.4. Posicionamiento Wi-Fi	26
2.2.5. Balizas Bluetooth	29
2.2.6. VLC	31
2.2.7. LiFi	34
2.2.8. LiFi frente a WiFi	35
<b>2.3. Planificación Urbana y construcción de Smart Cities</b>	<b>37</b>
<b>2.4. Smart Buildings</b>	<b>39</b>
<b>2.5. Uso de la red en Smart Buildings</b>	<b>40</b>
<b>2.6. Sistema PATHER en Smart Buildings</b>	<b>41</b>

---



## 2.1. Introducción a los sistemas de posicionamiento Exterior (EPS)

En la actualidad existen tres sistemas de posicionamiento exterior (EPS):

- GALILEO: Sistema de posicionamiento global desarrollado por la Unión Europea (UE) conjuntamente con la Agencia Espacial Europea (ESA)<sup>3</sup>.

Constará de una constelación de 30 satélites distribuidos por tres planos orbitales, de los cuales 24 estarán operativos y el resto cubrirán posibles anomalías. Desde el año 2000 se está trabajando en el desarrollo de este sistema. El primer satélite fue lanzado en 2005, pero por falta de consenso entre los países intervinientes y motivos económicos y políticos aun no ha sido completado.

Se estima que en el tercer trimestre de este año 2017, 4 satélites más se añadan a la constelación. Será en 2020 cuando se complete la constelación y se alcance su plenitud de operaciones. Cabe destacar que GALILEO es un sistema de uso civil con una precisión de 1 y 1,5 metros.

- GLONASS: Sistema Global de Navegación por Satélite desarrollado por la Unión Soviética y administrado hoy día por la Federación Rusa. Se compone de una constelación de 31 satélites de los cuales 24 están en activo, 3 de repuesto, 2 de mantenimiento y 1 de servicio. El primer satélite fue lanzado en el año 1982, y es operativo desde 1996, con uso civil y militar. Junto con el GPS son los dos únicos sistemas que operan actualmente a nivel global.

Debido a su precisión esta tecnología se incluye desde 2011 en la alta de teléfonos móvil de las principales marcas del mercado. La convivencia de los dos receptores implica ventajas y es por ello que necesitan de ambos receptores, uno para la señal GLONASS y otro para la señal GPS. Aunque las señales son diferentes, trabajan en conjunto para lograr mayor rapidez y precisión<sup>45</sup>.



- GPS: Como ya se ha mencionado en el capítulo 1, fue a principios de los años 70 cuando se dieron los primeros pasos en la creación de un sistema de posicionamiento global (GPS).

« El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de radionavegación de los Estados Unidos de América, basado en el espacio. Proporciona servicios fiables de posicionamiento, navegación, y cronometría gratuita e ininterrumpidamente a usuarios civiles en todo el mundo. A todo el que cuente con un receptor GPS, el sistema le proporcionará su localización y la hora exacta en cualesquiera condiciones atmosféricas, de día o de noche, en cualquier lugar del mundo y sin límite al número de usuarios simultáneos<sup>37</sup>.»

El GPS se compone de tres elementos:

1. Satélites en órbita alrededor de la Tierra: El segmento espacial consiste en una constelación formada por 24 satélites operativos que transmiten señales unidireccionales proporcionando la posición y la hora de cada uno de ellos.
2. Estaciones terrestres de seguimiento y control: El segmento de control esta formado por estaciones distribuidas por todo el mundo, para el seguimiento y control. Con el fin de mantener los satélites en la órbita apropiada se realizan maniobras de ajuste de mando y hora en cada uno de sus relojes. De este modo se asegura el correcto funcionamiento de la constelación.
3. Receptores del GPS propiedad de los usuarios: El equipo receptor de la señal GPS de cada usuario recibe las señales del satélite y las procesa para calcular la posición tridimensional y la hora concreta.

Cada uno de estos tres elementos y segmentos mencionados proporcionan por separado sus coordenadas tridimensionales (latitud, longitud y altitud), así como la

hora local precisa.

El sistema GPS está sometido a una continua mejora. Son muchos los recursos que se dedican para modernizar los satélites e incorporarles nuevas señales, con el objetivo de mejorar la vida de sus usuarios.

### 2.1.1. Aplicaciones de los EPS

El GPS se ha convertido en una tecnología indispensable para todos los sistemas de transporte del mundo, puesto que sirve de apoyo a la navegación por aire, tierra y mar.

Cabe mencionar su uso por los servicios de emergencia y socorro en casos de desastre, ya que dependen del GPS para la localización y coordinación horaria de misiones con el objetivo de salvar vidas.

Son muchas las actividades que se nutren directamente de esta tecnología, acciones tan cotidianas como operaciones bancarias, el uso de la telefonía móvil e incluso de las redes de distribución eléctrica. El uso del GPS las convierte en acciones eficientes, debido a la exactitud cronométrica que le proporciona a cada una de ellas<sup>76</sup>.

Son muchos los sectores que utilizan esta señal para hacer su trabajo más, seguro, económico y preciso. Como ejemplo cabe mencionar la agricultura<sup>56</sup>, topografía<sup>96</sup> y geología entre otros.

Existen infinidad de aplicaciones para el GPS y cada vez surgen más. Debido a su índole gratuita, ininterrumpida y fiable cada día surgen nuevas. Se trata de una tecnología cuya única limitación es la creatividad de la imaginación humana.

### 2.1.2. Limitaciones de los EPS

Es cierto que la tecnología GPS se ha ampliado con el objetivo de satisfacer los requerimientos de posicionamiento, navegación y cronometría de determinados usuarios. Esta ampliación proporciona mayor precisión, integridad y fiabilidad en

campos científicos, investigaciones y aplicaciones del ámbito social o comercial. Ejemplos:

- Sistema Nacional del GPS Diferencial (NDGPS)<sup>71</sup>.
- Sistema de Aumento de Zona Amplia (WAAS)<sup>28</sup>.
- Sistema de Referencia de Operación Continua (CORS)<sup>70</sup>.
- Sistema GPS Diferencial Mundial (GDGPS)<sup>47</sup>.
- Sistema Internacional de GNSS (IGS)<sup>44</sup>.

Pero la realidad es que la información que nos proporciona el GPS, en aplicaciones civiles es limitada:

- Precisión estimada de entre 2 y 15 metros.
- Necesidad de cuatro satélites para una posición precisa.
- La disponibilidad de los satélites depende del control de los gobiernos.
- Las señales pueden perder calidad bajo condiciones adversas del clima (lluvia, nieve, niebla entre otras).
- Los cálculos del posicionamiento pueden verse alterados por interferencia eléctricas.
- Los satélites pueden dejar de funcionar parcial o totalmente en caso de tormenta solar.
- Los sistemas de posicionamiento exterior como el GPS, disminuyen su señal en el interior de edificios e incluso llega a perderse con facilidad.

Este último aspecto mencionado, pero no por ello menos importante es la base de la creación de los sistemas de posicionamiento interior, el cual se desarrolla en los siguientes apartados.

## 2.2. Los Sistema de Posicionamiento Interior (IPS)

Un Sistema de Posicionamiento en Interior (IPS) es capaz de localizar personas y objetos dentro de un edificio. La aparición de IPS ha ido creciendo durante última década, sin seguir un patrón estándar. Algunos de ellos utilizan ondas de radio o campos magnéticos, otros señales acústicas, e incluso otro tipo de información recogida por dispositivos móviles, como son las cámaras<sup>66</sup>.

Las tecnologías inalámbricas forma parte de infinidad de ámbitos desde; consumo, medicina, industria, seguridad pública, logística y transporte, junto con muchas otros más.

El uso de este sistema para diferentes aplicaciones, pueden requerir diferentes tipos de información de localización. Distinguyendo entre :

- Ubicación física: La ubicación física se expresa en forma de coordenadas, que identifican un punto en un mapa, este puede ser 2D o 3D. Donde se utilizan los sistemas de coordenadas más utilizados, como son los grados-minutos- segundos (DMS), los minutos decimales decimales y el sistema de coordenadas transversal de mercator (UTM), del inglés Universal Transverse Mercator<sup>61</sup>.
- Ubicación simbólica: La localización simbólica expresa una localización en una manera del lenguaje natural, tal como en el aula, la cafetería, la segunda planta, entre otras.
- Ubicación absoluta: La localización absoluta permite conocer la ubicación exacta de cualquier punto de la superficie terrestre, a partir de la red geográfica y del sistema de coordenadas geográficas.
- Localización relativa: Una ubicación relativa depende de su propio marco de referencia. La información de localización relativa se basa normalmente en la proximidad de puntos de referencia conocidos o estaciones base.

Son varias las tecnologías inalámbricas utilizadas para la ubicación inalámbrica en interiores. Estas pueden clasificarse en base a:

1. El algoritmo de posicionamiento o método para determinar la localización. Éste realiza la medición de señales tales como tiempo de vuelo, ángulo e intensidad de la señal.
2. La tecnología inalámbrica utilizada para comunicarse con los dispositivos móviles o dispositivos estáticos. En general, la medición implica la transmisión y recepción de señales entre componentes de hardware del sistema. donde al menos contará con dos componentes de hardware separados, un transmisor de señal y una unidad de medición. Éste equipo suele llevar ser un sistema dotado de inteligencia artificial.

### **Clasificación de los Sistemas de Posicionamiento Interior según tipo de comunicaciones inalámbricas**

- Etiquetas RFID.
- Posicionamiento Wi-Fi.
- Balizas Bluetooth.
- Li-Fi.
- Sistemas basados en el sonido.
- Cámaras móviles.

Estas tecnologías tienen un amplio abanico de aplicaciones: monitorización, seguridad, localización de personas, niveles de humedad, control remoto, control de clima, iluminación entre otras

Las investigaciones se centran en nuevas tecnologías basadas en comunicaciones inalámbricas. En el siguiente apartado se hace una breve descripción de las más interesantes.

### 2.2.1. Comunicaciones inalámbricas

Desde hace unos años se percibe que el uso de las nuevas tecnologías de la información, tal y como se conocen hoy día se están convirtiendo en una revolución. Gracias a los precios cada vez más populares y a las infinitas aplicaciones de este tipo de tecnología se han hecho hueco en el mercado de consumo. La aplicación de redes inalámbricas a un sistema de control permite la gestión a través de Internet. Además es importante destacar la posibilidad de comunicar entre diferentes dispositivos de manera inalámbrica.

La tendencia actual busca la obtención de redes de interconexión de menor coste y es por ello que se apuesta fuertemente por las comunicaciones inalámbricas. Este tipo de conexiones frente a las de cableado son mucho más sencillas de instalar sobre todo cuando se trata de instalaciones sobre edificios existentes.

La tecnología inalámbrica encuentra aplicaciones en diversos escenarios de transmisión de datos desde pocos kilobits (kbps) por segundo hasta Gigabits (Gbps). Para la baja velocidad se encuentra el Bluetooth, RFID, Zigbee entre otros, mientras que en las alta transmisión de datos aparecen tecnologías como el WiFi o el Li-Fi<sup>40</sup>.

Al igual que otros tipos de tecnologías la redes inalámbricas (wireless networks) tienen ventajas e inconvenientes frente a las redes cableadas. Un aspecto de alta relevancia es la seguridad. La seguridad es el principal criterio empresarial a la hora de decantarse por un tipo de tecnologías inalámbrica u optar por el cableado tradicional<sup>?</sup>.

Las redes inalámbricas se pueden clasificar según los estandar wireles en el mercado: Redes inalámbricas de área personal (WPAN); Redes inalámbricas de área local (WLAN); Redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN) y Redes inalámbricas de área extensa (WWAN). El desarrollo de este proyecto se centra en las dos primeras, WPAN y WLAN, que son las dos redes que en principio se van a utilizar.

Redes inalámbricas de área personal(WPAN, Wireless Personal Area Network: Redes que cubren radios de aproximadamente 10 metros. No necesita elevadas tasas de transmisión, por ejemplo la tecnología Bluetooth, con tasas de transmisión desde

100Kbps hasta 1Mbps, sobre distancias de 0 a 100 metros. Estos valores variaran según la potencia de transmisión utilizada y de los obstáculos existentes entre el transmisor y el receptor. Este tipo de tecnología se usan en dispositivos móviles, portátiles, teclados entre otros, debido al bajo consumo de energía.

Según el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) las redes WPAN se divide en cuatro grupos de trabajo para el desarrollo de estándares.

- Grupo de trabajo 802.15.1, desarrolla el Bluetooth.
- Grupo de trabajo 802.15.2, modelo de coexistencia entre WLAN y WPAN.
- Grupo de trabajo 802.15.3, mayor transmisión de datos, con bajo consumo y mínimo coste de fabricación.
- Grupo de trabajo 802.15.4, soluciones de bajo consumo con baja transmisión de datos. Del análisis de estas estos cuatro grupo de trabajo se percibe, un bajo consumo y coste con una transferencia media.

La redes inalámbrica de área local (WLAN, Wireless Local Area Network, red de área local inalámbrica, es un sistema de comunicaciones de datos mucho mas flexible que el sistema cableado. Utiliza ondas de radio de alta frecuencia, y de esta manera, combina la conectividad de datos con la movilidad del usuario. El estandar IEEE 802.11 define el uso de los dos niveles inferiores a la arquitectura o modelo OSI (capa física y capa de enlace de datos). Existen dos modos de funcionamiento de los dispositivos IEEE802.11 que son infraestructura y hoc.

Infraestructura: Utiliza puntos de acceso<sup>105</sup> (access point [AP]). Un punto de acceso permite dar cobertura a una zona y cubrir una célula. Es interesante saber que los AP pueden estar interconectados entre ellos y conectados a una red cableada, de esta manera el alcance de la red será mayor.

Gracias a los AP, se mantiene la red, simplificando en gran medida la transmisión de datos por el medio de propagación (el aire). Cada AP dentro de una red debe suministrar

soporte de asociación y autenticación para que los dispositivos puedan conectarse con el y permitir roaming. Gracias al roaming los usuarios podrán cambiar de punto de acceso sin perder la conexión, para dispositivos procedentes de otros AP de la misma red. Sin olvidar que los puntos que conforman una estructura deben aportar mecanismos de sincronización, control de energía y funciones de calidad del servicio. Los dispositivos móviles que estén conectados a una red fija o LAN, tendrán los servicios tradicionales como las intranets. Su velocidad de transmisión se sitúa entre los 10/100Mbps dedicados.

El modo hoc también conocido como «peer to peer» utiliza mecanismos para acceder a las redes sin ningún tipo de infraestructura, ya que este tipo de red comunica máquina a máquina. Su alcance depende del propio de cada una de ellas, aunque por norma general tendrán menos alcance inalámbrico que un router. Puede resultar interesante su uso de hoc en redes domésticas. Aunque este tipo de tecnología de radiofrecuencia utiliza bandas libres de licencia (2,4 GHz y 5,4 GHz), permitiendo conectividad y movilidad hay que tener en cuenta la limitación del área de cobertura, limitada por su potencia y los obstáculos existentes entre el transmisor y el receptor. Su velocidad de transmisión se sitúa entre los 1 y 54 Mbps compartidos.

Destacar que las redes WLAN se usan como complemento de las redes fijas, proporcionando un mayor alcance a la red general.

### 2.2.2. Descripción de los Sistemas de Posicionamiento Interior

RFID, Wi-Fi, Bluetooth, Li-fi o magnetismo son algunos de los sistemas de posicionamiento en interior más utilizados en el mercado. Pero no todos ellos son iguales, a continuación se muestran las ventajas e inconvenientes del uso de estos sistemas de posicionamiento en interior. Se comparan precisiones, rendimiento y aplicaciones entre otras características.



### 2.2.3. Etiquetas RFID

RFID (siglas de Radio Frequency IDentification, en español identificación por radiofrecuencia) es un método de almacenamiento y recuperación remota de datos, basado en el empleo de etiquetas o tags en las que se almacena la información. RFID se basa en un concepto similar al del sistema de código de barras; la principal diferencia entre ambos reside en que el segundo utiliza señales ópticas para transmitir los datos entre la etiqueta y el lector, y RFID, en cambio, emplea señales de radiofrecuencia (en diferentes bandas dependiendo del tipo de sistema, típicamente 125 KHz, 13,56 MHz, 433-860-960 MHz y 2,45 GHz).

Todo sistema RFID se compone principalmente de cuatro elementos:

1. Una etiqueta RFID, también llamada tag o transpondedor (transmisor y receptor). Existen muchos tipos de RFID, de manera genérica se puede dividir los dispositivos RFID en dos clases: activo y pasivo.

Las **etiquetas activas** necesitan una fuente de alimentación y para ello están conectados a una infraestructura o utilizar la energía almacenada en una batería. En este último caso, la energía almacenada es limitada, del mismo modo su vida útil. Por ello se estudia el número de operaciones de lectura, que puede realizar el dispositivo. Sin embargo, el uso de baterías hacen que el costo, el tamaño y la duración de etiquetas activas poco práctico.

Por el contrario, las **etiquetas pasivas** son de gran interés para el mercado, ya que las etiquetas no requieren del uso de baterías ni mantenimiento. Su vida útil es indefinida y por su pequeño tamaño se adapta a pequeñas etiquetas adhesivas<sup>103</sup>.

De este modo, la etiqueta se inserta o adhiere en un objeto, animal o persona, portando información sobre sí mismo. En este contexto, la palabra *objeto* se utiliza en su más amplio sentido: puede ser un vehículo<sup>67</sup>, una tarjeta, una llave, un paquete, un producto, una planta, etc.

Consta de un microchip que almacena los datos y una pequeña antena que habilita la comunicación por radiofrecuencia con el lector.

2. Un lector o interrogador, encargado de transmitir la energía suficiente a la etiqueta y de leer los datos que ésta le envíe. Consta de un módulo de radiofrecuencia (transmisor y receptor), una unidad de control y una antena para interrogar los tags vía radiofrecuencia.<sup>30</sup>.

Los lectores están equipados con interfaces estándar de comunicación que permiten enviar los datos recibidos de la etiqueta a un subsistema de procesamiento de datos, como puede ser un ordenador personal o una base de datos.

Algunos lectores llevan integrado un programador que añade a su capacidad de lectura, la habilidad para escribir información en las etiquetas.

3. Un ordenador, host o controlador, que desarrolla la aplicación RFID. Recibe la información de uno o varios lectores y se la comunica al sistema de información. También es capaz de transmitir órdenes al lector<sup>91</sup>.
4. Adicionalmente, un middleware y en backend un sistema ERP de gestión de sistemas IT son necesarios para recoger, filtrar y manejar los datos.

#### **Características principales de localización RFID:**

- Componentes básicos: etiqueta electrónica o tag, un lector de tags y una base de datos.
- Tag programado con código único identificativo del elemento o posición donde están adheridos.
- Comunicación por radiofrecuencia con la antena receptora y transmisión de información a la base de datos.
- Simultaneidad de lectura de etiquetas para una misma antena receptora.

#### **Ventajas:**

- Alcance de localización desde 45 cm hasta 10 m.

- Funcionamiento de Tags sin batería.
- Económicos.
- Alta sensibilidad de orientación.
- Poco peso para los dispositivos Tags
- Recolección de datos sin contacto directo con la etiqueta.

**Desventajas:**

- Control y regularización de las emisiones radioeléctricas y el uso del espectro mediante normativas.
- Sensibilidad al ruido.
- Dependencia de la señal del dispositivo lector.
- Requerimiento de dispositivos lectores potentes.
- Lectura simultánea baja.

#### **2.2.4. Posicionamiento Wi-Fi**

El posicionamiento en interiores a partir de una red Wi-Fi se puede dividir en dos categorías principales.

La **primera categoría** se centra en la propagación de ondas basada en las distancias entre los dispositivos de emisión Wi-Fi (BaLiza PATHER) cuyas coordenadas son conocidas en el cálculo y los puntos móviles (Smartphones) cuyas coordenadas van variando. Midiendo la distancia entre el transmisor y el receptor basado en RSSI (Received Signal Strength Indicator). Este cálculo de la distancia requiere de modelos de propagación de las ondas de radio para expresar la distancia de acuerdo con la intensidad de la señal.

La **segunda categoría** se basa en mapas de intensidad de señal y coordenadas geográficas.<sup>14</sup>.

La localización de un dispositivo móvil en un mapa consiste en la coincidencia de una medición con algún punto del mapa. La construcción de un mapa de intensidad de la señal por medio de mediciones implica moverse físicamente a cada ubicación en el mapa y realizar una medición. Técnicamente, se puede utilizar la simulación por algún modelo de propagación de la onda.

Presenta varias ventajas claras ya que en este tipo de modelo no tiene en cuenta los obstáculos interiores existentes y además debe de ser trazado un nuevo mapa en el momento en que se han producido cambios importantes en el entorno de propagación inalámbrica como por ejemplo, la reubicación de los puntos de acceso, rediseño de la red inalámbrica entra otros. Para trazar un mapa de intensidad de señal, el posicionamiento móvil se logra haciendo coincidir el contenido del mapa con una medición de intensidad de la señal proporcionada por el móvil o la arquitectura de red inalámbrica. Existen dos técnicas la determinista y por medio de probabilidad.

Por un lado las técnicas deterministas, subdivididen en celdas más pequeñas toda la zona y las lecturas se toman en estas celdas a partir de varios puntos de acceso conocidos (a lo que se llama fase de formación). En la fase de posicionamiento se selecciona la célula más probable, es decir, la celda que mejor se adapte a la medida de la corriente. Por oro lado las técnicas de posicionamiento probabilísticos utilizan una distribución de probabilidad de la ubicación del usuario en el área de movimiento. El objetivo del posicionamiento es llegar a un solo modo para esta distribución, que es la ubicación más probable de mapa.<sup>14</sup>.

Analizadas las dos categorías, parece más prometedor el uso de la primera, donde se pueden utilizar tramas de señalización distribuidas. En el caso PATHER, los puntos de acceso Wi-Fi (balizas PATHER) y recibir y analizar las señales en dispositivos móviles. El posicionamiento es posible gracias a la existencia de varios dispositivos desplegados simultáneamente. Evitando la preparación de mapas costosos y su periodo de formación.

A modo de ejemplo interesante, cabe mencionar la existencia de varias aplicaciones<sup>72</sup> que hacen encuestas de la red inalámbrica previamente desplegada. Gracias al uso de estas apps, se monitorizan emplazamientos para conseguir una red Wi-Fi que

proporcione una cobertura óptima. Generando informes que ayudan a realizar una investigación sólida y a la comprensión del comportamiento de radiofrecuencia. El objetivo final es crear una red inalámbrica estable y para ello se deben evitar zonas muertas o áreas de interferencia dentro del edificio donde se implanta.

Por lo tanto, la auditoria de una red inalámbrica se realiza de un modo muy sencillo. Simplemente se necesita de un ordenador portátil, un plano de la zona a analizar e ir marcando algunos puntos de referencia sobre dicho plano. Finalmente se realiza el estudio de la relación Señal-Ruido, intensidad de señal, nivel de ruido y calidad de la señal wifi en un edificio o recinto determinado.

### **Evolución del Wi-Fi al WiGig**

El término Wi-Fi es una marca de la organización comercial Wi-Fi Alliance, integrada por varias empresas interesadas en promover un estándar común que regule las conexiones inalámbricas a Internet. Surgió de la necesidad de establecer un mecanismo universal de conexión inalámbrica compatible con todos los dispositivos electrónicos del mercado.

En 1997 la WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance), actual Wi-Fi Alliance creó el estandar IEEE 802.11 con una conexión de 2Mbps/s. En 1999 se creó el estandar IEEE 802.11a, con una velocidad máxima de 54 Mbps/s y que funciona en la frecuencia de 5GHz con el propósito de acabar con las interferencias con los teléfonos inalámbricos que usaban 2.4GHz. Llegó posteriormente en 2003 el estandar IEEE 802.11b, en 2009 el IEEE802.11n, con una velocidad máxima de hasta 54Mbps/s y 600 Mbps/s respectivamente. Son estándares de gran aceptación debido a la banda de 2.4GHz aunque el último también funcione en 5GHz.

A pesar de que el 802.11n es mucho más reciente y que el 802.11g ha sido adoptado ampliamente hasta la fecha por su velocidad y por ser algo más económico que sus antecesores<sup>87</sup>, en la actualidad se tiende a utilizar el nuevo protocolo IEEE 802.11ac también conocido como WiFi5. El estandar 802.11ac permite velocidades de 1.000 Mbps

en la banda de los 5 GHz, que como ya se ha mencionado anteriormente tiene menos interferencias ya que no se utilizada por otras tecnologías como por ejemplo: microondas, Bluetooth, o WUSB, entre otros. Por otro lado su alcance es menor puesto que al aumentar la frecuencia del ancho de banda disminuye, con un rango aproximadamente de 10m.

Es importante saber que los dispositivos deben poder conectarse con diferentes estándares para evitar incompatibilidades en la conexión.

Esta organización es encargada de probar y certificar que los equipos cumplen con el estándar Wi-Fi 802.11 relacionado con las redes inalámbricas de ámbito local. En el año 2012, el IEEE publicó el estandar 802.11/2012 que consolida todas las enmiendas previas<sup>5</sup>.

El mercado demanda diferentes estándares y con el paso del tiempo se han ido desarrollando nuevos y cada uno es diferente. Para poder Elegir el más conveniente es necesario conocer todos y cada uno de ellos. Finalmente resulta muy interesante el estandar 802.11n puesto que puede comunicarse con todos los demás estándares sin problema de incompatibilidad tanto en 2,4 como 5 GHz.

### 2.2.5. Balizas Bluetooth

La tecnología Bluetooth es el estandar inalámbrico global que permite el internet de las cosas<sup>84</sup>(IoT). Es una alternativa inalámbrica a los cables de datos, mediante el intercambio de información vía radio<sup>59</sup>.

El nacimiento de la tecnología Bluetooth se remonta al año 1994, cuando Ericsson se encontraba desarrollando una tecnología que permitiera comunicaciones de corto alcance entre sus móviles y accesorios. Dicha tecnología debía consumir muy poca energía. Ese proyecto que en sus primeros pasos se llamaba MCLink, más tarde paso a llamarse Bluetooth en honor al rey danés Harald Blåtand.

Fue en 1998 cuando Bluetooth vio la luz, y fue entonces cuando los gigantes de la tecnología empezaron a mostrar interés por el producto, formando una SIG (Special Interest Group) entre Ericsson, Intel, IBM, Nokia y Toshiba. Actualmente el grupo lo forman más de 14.000 empresas de las que cabe mencionar algunas como: Apple y Microsoft además de las anteriormente nombradas. Dichas compañías aportan tanto capital monetario como humano<sup>99</sup>.

Tecnología basada en:

- Establecer conexiones con poco gasto de energía.
- Establece enlaces por lo general de corta duración.
- Otorga seguridad mediante diversas maneras de cifrado de datos, también exige el uso de un PIN para establecer conexiones entre equipos.
- Soporta voz y datos.
- Interoperatividad muy alta.
- Bajo costo de producción e implementación.

En la actualidad la tecnología Bluetooth se ha convertido en un estándar global de comunicación inalámbrica, capaz de conectar todo tipo de dispositivos entre si. Por ejemplo: auriculares, smartphones, altavoces, y relojes entre otros.

Cada día miles de productos del mercado utilizan Bluetooth para conectar entre ellos, pero no solo se trata de conectividad entre productos sino de conectividad para ofrecer una serie de servicios (IoT). Se espera que IoT ofrezca una conectividad avanzada de dispositivos, sistemas y servicios que va más allá de las comunicaciones de máquina a máquina y cubra una variedad de protocolos, dominios y aplicaciones. La expectativa de interconexión de estos dispositivos integrados (incluidos los objetos inteligentes) incluye la automatización en casi todos los campos. Al mismo tiempo que habilite aplicaciones avanzadas como una red inteligente y se expanda a grandes áreas como las ciudades inteligentes en inglés Smart Cities, de las que tanto se hablan en la actualidad.

Las **balizas bluetooth** son un servicio de red de proximidad. Un usuario móvil obtendrá datos y dependerá de la proximidad a algún nodo de red (etiqueta Bluetooth)<sup>73</sup>. Para la tarea de posicionamiento clásica, el caso de uso aquí se parece al posicionamiento basado en Wi-Fi antes mencionado. Técnicamente se usa triangulación con varias balizas.

A este respecto se debe mencionar la aparición de nuevas iniciativas como por ejemplo en los estados unidos la llamada de emergencia al E911. El 29 de enero de 2015, la FCC adoptó medidas que proporcionan una solución para identificar con precisión la ubicación de las personas que llaman al 911 siempre y cuando la persona que llama se encuentre en el interior de un edificio<sup>13</sup>. Por otro lado Federal communications Commission (FCC) requiere que los transportistas proporcionen información de localización interior más precisa para 2018. Se requerirá que los transportistas proporcionen exactitud de ubicación en la ubicación horizontal (dirección) y ubicación vertical (nivel desde el suelo). Esta regulación Indoor E911 propulsará la industria de servicios basados en localización en interiores que consiste en soluciones Wi-Fi y baliza.

La siguiente observación se dirige a las etiquetas Bluetooth, donde se tiene un flujo de datos de transmisión constante y un conjunto de receptores. Se necesita Bluetooth de baja energía (BLE de las siglas en ingles Bluetooth low energy) sólo porque los dispositivos difundidos no tienen energía externa. Pero cualquier nodo Core Bluetooth en modo detectable también es un radiodifusor. Se trata la dirección MAC como un UUID<sup>68</sup>. En otras palabras, un nodo Bluetooth en el llamado nodo detectable (que es visible para otros dispositivos) también es una etiqueta. Por ejemplo, muchos automóviles modernos tienen nodos Bluetooth.

### 2.2.6. VLC

Durante los últimos 40 años se ha experimentado una evolución importante en el desarrollo de la iluminación mediante diodos emisores de luz, comunmente conocido como LEDs (Light-Emitting Diode)<sup>92</sup>. Gracias al alto desarrollo de esta tecnología se hace posible su uso no solo como generador de luz visible, de alta eficiencia energética y larga vida útil sino como medio para transmitir datos a alta velocidad de manera



simultanea.

VLC (Visible Light Communications), especificado en el estándar 802.15.7. Es un conjunto de tecnologías de comunicaciones óptico inalámbricas donde se incluye unidireccionalidad y baja velocidad de transferencia de datos, aunque VLC no suele proporcionar acceso inalámbrico a internet.<sup>102</sup>.

VLC se convierte de este modo en una alternativa a los sistemas de radiofrecuencia, sobretodo en entornos donde existen severas restricciones de emisión electromagnética.

Las tecnologías inalámbricas descritas en los anteriores apartados presentan algunas desventajas a tener en cuenta:

La *capacidad* de las ondas electromagnética (ondas de radio): dichas ondas son limitadas ya que solo se dispone de un cierto espectro.

La *eficiencia*: para transmitir las ondas electromagnéticas se necesitan una serie de antenas de transmisión o estaciones base, estas estaciones consumen una gran cantidad de energía no solo para la transmisión de la onda sino para enfriar dichas estaciones, convirtiéndolas en poco eficientes.

La *seguridad*: Uno de los aspectos mas importantes para este tipo de redes es la seguridad. Existen lugares donde está prohibido usar las redes inalámbricas. Un ejemplo muy común, es el uso del teléfono móvil durante los vuelos o en diferentes áreas de hospitales. Por otro lado las redes inalámbricas penetran paredes de manera que pueden ser interceptadas desde el exterior generando la posibilidad de ser utilizadas por terceras personas sin permiso.

Tal y como se menciona en el trabajo de O'Brien<sup>75</sup>, la tecnología VLC presenta potenciales aplicaciones en una serie de áreas:

- Señalización visual mediante color.
- Comunicación en enlaces punto a punto.

- Transmisión de posicionamiento de un usuario móvil a un aparato de iluminación

Desde hace años se viene proporcionando infinidad de aplicaciones<sup>60</sup>. Y como ya se ha mencionado anteriormente en la actualidad es posible disponer de aplicaciones para localización en interiores basada en VLC. Por ejemplo:

En los Estados Unidos la tecnología Qualcomm Lumicast<sup>49</sup>, se comienza a implantar en supermercados y grandes superficies para ofrecer a los clientes una experiencia de posicionamiento en interiores eficiente y personal. La iluminación LED se utiliza para enviar señales de Comunicación de Luz Visible (VLC) al teléfono inteligente de cada cliente, y Lumicast determinar su ubicación con una precisión de centímetro (de 5 a 10 centímetros). De este modo puede guiarlo directamente hacia artículos de su lista de compra.

Este tipo de tecnologías impulsan la comercialización y la eficiencia operativa de cualquier espacio de interior en el que se implante, como centros comerciales, aeropuertos y grades almacenes.

Las señales de luz visible se transmiten desde dispositivos de LED y se decodifican por los teléfonos inteligentes de los compradores a través de la cámara del teléfono frontal. Esta señal se aumenta mediante el uso de sensores y tecnologías Bluetooth.

En cuanto a los beneficios de los empresarios, proporciona una fuente de información rápida y fiable. Ayuda a comprender los patrones de comportamiento de los consumidores. Esto puede conducir a mayores ventas, mayor fidelización del cliente, y más información durante la experiencia de compra de los mismos. Permite crear el espacio ideal para aumentar sus ventas y monitorizar el inventario en las estanterías. El sistema ayuda a tomar mejores decisiones operacionales y ofrecer servicios de localización en interiores de alta calidad.

Además de lo anteriormente descrito, este tipo de producto promoverá la eficiencia en el lugar de trabajo, notificará a los empleados para que asistan a las áreas más concurridas de la tienda y enviarán alertas cuando un usuario entre en un área restringida.

### 2.2.7. LiFi

Tras la presentación de la tecnología VLC destaca LiFi. LiFi es un sistema de comunicación inalámbrico de alta velocidad y transmisión de datos bidireccional. LiFi utiliza la luz visible generada por cualquier lámpara led como medio de transmisión de datos. Utilizado para la creación de redes de comunicación entre diferentes dispositivos electrónicos, resultando ser una evolución de la red tradicional WiFi.

En la conferencia TED Global del año 2011<sup>42</sup> se dio a conocer el término LiFi, de mano del profesor ingeniero Harald Hass<sup>98</sup>. El término LiFi es especificado en el estándar 802.15.7.<sup>97</sup> para las redes ópticas de comunicaciones de corto alcance.

Actualmente los gigantes tecnológicos principales como Google o Apple<sup>78</sup> están desarrollando tanto hardware como software en sus dispositivos para adoptar esta nueva tecnología, que permitirá la conexión a Internet a velocidades hasta el momento no conocidas. Es cuestión de poco tiempo que Smartphones, tablets, smartwatches, sensores y dispositivos electrónicos de cualquier índole incorporen la tecnología LiFi.

La tecnología LiFi basa su funcionamiento en 2 dispositivos en concreto, el modulador de luz y un fotodiodo receptor:

El **modulador de luz** es un dispositivo que puede conectarse a cualquier lámpara led cuyo objetivo es la de apagar y encender el led millones de veces por segundo, siendo dicho parpadeo imperceptible por el ojo humano, generando señales luminosas en formas de código binario 1 (encendido) y 0 (apagado).

Posteriormente un **fotodiodo receptor** ensamblado en el dispositivo electrónico capta las señales luminosas y las interpreta como código binario, enviando dicha información al procesador del dispositivo convirtiendo las señales luminosas en información de tipo texto, sonido, imagen o video.

Aunque en los laboratorios se puedan alcanzar velocidades de transferencia de datos superiores a los 200Gb/s, en el entorno real se han creado redes con velocidades

superiores a 1 Gb/s siendo 100 veces superior a las tradicionales redes wifi.

### 2.2.8. LiFi frente a WiFi

El mercado actual demanda una capacidad inalámbrica cada vez mayor, los Smartphones, tablets, smartwatch y el IoT en general promueven este mercado. Con el objetivo de dar soporte a toda esta nueva tecnología se requieren unas infraestructuras de redes e Internet cada vez más potentes. La evolución de dichas redes de amplio espectro es primordial, a la vez que un servicio de alta calidad en los edificios, dado que la mayoría de datos se consumen en el interior de los mismos.

La utilización del espectro de luz como un nuevo medio de acceso a internet se considera prometedor. Pero el uso de la tecnología LiFi no necesariamente elimina la WiFi, de tal modo que ambas pueden coexistir dando lugar a las redes heterogeneas (HetNets). El objetivo es dar calidad en el servicio especialmente en ambientes interiores donde la infraestructura soporta corto alcance.<sup>6</sup>.

Por norma general las redes WiFi son rápidas y fiable, pero debido a la distancia, las paredes que delimitan las estancias, al compartir el ancho de banda y a la interferencia de redes WiFi vecinas, esta señal puede ser atenuada. Por lo tanto puede llegar a ocurrir que en algunas estancias la señal sea débil, de tal forma que el usuario experimente mala conectividad y una velocidad de navegación muy lenta.

Con el objetivo de superar estos problemas y dar apoyo a la industria se ha diseñado el estandar IEEE 802.11ad más conocido comercialmente como WiGig. Su diseño ha sido desarrollado conjuntamente por el IEEE y Wireless Gigabit Alliance.

WiGig proporciona velocidades de transmisión de datos de hasta 7 Gbps. Para lograr estas velocidades, la tecnología utiliza la banda ISM (Industrial Scientific and Medical) sin licencia de 60 GHz, que garantiza niveles de interferencia reducidos. Diseñada para transferencias de datos de gran volumen dentro de una habitación (distancias entre 1 - 10 m), como por ejemplo transferencias de vídeo HD.

Se trata de una señal bidireccional con una secuencia de entrenamiento que permite que el sistema moldee los haces de transmisión y recepción para lograr las propiedades óptimas, de manera que permite al sistema superar cualquier movimientos del transmisor, receptor u objeto que pueda alterar las características de la trayectoria.

Si por el contrario se necesitan rangos más largos, se pueden usar estándares como 802.11ac. Ya que el estandar 802.11ad es totalmente compatible con los estándares Wi-Fi 802.11 que funcionan en la tri-banda (2,4GHz, 5GHz y 60 GHz).<sup>54</sup>.

A la misma vez que las implementaciones de redes inalámbricas de área local (WLAN) WiGig están empezando a llegar al mercado, los sistemas de comunicaciones ópticas inalámbricas como es el LiFi, ofrece doble funcionalidad para transmitir iluminación y datos.<sup>104</sup>.

Especialmente en los despliegues densos, el rendimiento sostenible de WiFi puede reducirse, debido al algoritmo de acceso compartido CSMA / CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection o en español acceso múltiple con escucha de portadora y detección de colisiones) que permite solo un enlace activo al mismo tiempo. Por ejemplo, el primer usuario que detecta un canal no utilizado puede iniciar la transmisión, independientemente de su calidad de canal. Sin embargo, si posteriormente hay una demanda de otro usuario que tenga un canal mejor, dicha demanda no puede ser atendida porque el primer enlace no se ha interrumpido, y la siguiente transmisión comenzará solo si el canal esta libre. Esta situación sitúa a la conexión wifi fuera de las necesidades del mercado actual, por la creciente transmisión de vídeo por IP, donde lo que prima es la utilización de los datos y un flujo continuo de los mismos sin intervalos.<sup>50</sup>.

Debido a la necesidad de una tecnología de transmisión multiusuario simultánea se utiliza en WiFi MU-MIMO en LTE (Long Term Evolution) habilitada para múltiples entradas y múltiples salidas. Sin embargo, se necesita un gran esfuerzo de estandarización para definir este nuevo modo de transmisiones simultáneas a múltiples usuarios. Finalmente debido a todos estos problemas de estandarización, escalabilidad y complejidad, y por la creciente demanda de WiFi, la escalabilidad es limitada y hay

motivos suficientes para considerar otros medios inalámbricos.<sup>32</sup>.

Teniendo en cuenta los desafíos mencionados anteriormente, se incluye un nivel adicional para las redes heterogéneas inalámbricas, con el fin de ofrecer una capacidad y densidad extra donde más se necesita.

Las luminarias de interior habilitadas para la tecnología LiFi pueden ser modeladas en una red heterogénea de tres capas formada por macrocélulas. Se espera que la descarga del tráfico hacia la LiFi sea más localizada y direccional y mejore el rendimiento de un único punto de acceso WiFi o de varios.

Además de la alta velocidad de descarga de tráfico con una conectividad perfecta, el sistema LiFi sumado al WiFi ofrece una mayor seguridad y un mejor posicionamiento en interiores. El posicionamiento en interiores mejora hasta un rango de centímetros, dejando atrás las tecnologías basadas en radio frecuencia.

## 2.3. Planificación Urbana y construcción de Smart Cities

Debido al rápido crecimiento de la densidad de población urbana en las ciudades, aumenta la demanda de una serie de servicios e infraestructuras. Tal y como se menciona un estudio de Jin<sup>48</sup>, se estima que en 2050 el 70% de la población mundial (más de 6 millones de personas), vivirán en ciudades. Por lo tanto, las ciudades deben ser inteligentes con el objetivo de lograr un bienestar económico, social y ambiental.

Se define como Ciudades Inteligentes (del inglés Smart Cities) como aquellas que utilizan las tecnologías de la información y las comunicaciones para hacer los servicios de la ciudades y el monitoreo más consciente, interactivo y eficiente.

Es aquí donde entra el juego el papel de las emergentes IoT. Que no sólo recolecta información de los entornos (detección) sino que interactúa con el mundo físico (ac-

tuación / mando / control). Y para ello utiliza los estándares existentes de Internet proporcionando servicios de transferencia de información, análisis y aplicaciones<sup>107</sup>.

IoT proporciona por un lado integración y por otro es un medio de comunicación común. Actualmente los dispositivos son capaces de interconectarse y comunicarse entre sí gracias al uso de Internet.

Según Rathore<sup>89</sup>, existe una arquitectura de cuatro niveles que incluye:

1. **Nivel inferior:** que es responsable de las fuentes de datos y la generación de los mismos.
2. **Nivel intermedio 1:** administrador de todo tipo de comunicación entre sensores, relés, estaciones base, e internet entre otras.
3. **Nivel intermedio 2:** responsable de la gestión y procesamiento de datos utilizando el marco Hadoop<sup>1</sup>.
4. **Nivel superior:** encargado de la aplicación y uso del análisis de datos y los resultados generados.

Con el fin de obtener ciudades inteligentes, se implementa un sistema que consta de varios pasos:

- Generación, recolección, agregación, filtración y clasificación de datos.
- Preprocesamiento.
- Computación.
- Toma de decisiones.

Los resultados que puede generar este tipo de sistema son de los mas escalables y eficientes que existen. Además, de presentar una la eficiencia en términos de rendimiento y tiempo de procesamiento de datos.

---

<sup>1</sup>El sistema de archivos Hadoop, desarrollado por Apache Software Foundation. Es un entorno de trabajo de software que soporta aplicaciones distribuidas bajo una licencia libre. Permite a las aplicaciones trabajar con miles de nodos y petabytes de datos. Hadoop se inspiró en los documentos Google para MapReduce y Google File System (GFS). <https://hadoop.apache.org/>

## 2.4. Smart Buildings

Si se vuelve la vista atrás, como resultado del boom inmobiliario, numerosos edificios han sido contruidos sin valor añadido. Afortunadamente dicho valor se comienza a implantar gracias a la domótica. Según define Guzmán « la domótica es la tecnología que automatiza las funciones e instalaciones de un edificio o vivienda para aumentar la comodidad, la seguridad y el ahorro de energía.»<sup>41</sup>

Teniendo en cuenta los avances producidos en tres campos:

- Electrónica.
- Informática.
- Comunicaciones.

« Un sistema **domótico** es aquel que permite integrar y controlar diferentes sistemas, automatizados o no, cada uno de ellos de manera indepediente, desde una única ubicación y con una simple actuación.»<sup>41</sup>

La domótica es un concepto cada vez más familiar y se implanta en las nuevas construcciones e incluso en rehabilitaciones de edificios.

Los nuevos estándares de construcción para edificios domóticos, promueven conceptos de arquitectura bioclimática, con el objetivo de obtener ahorro y eficiencia energética<sup>77</sup>.

Tal y como define Garzon « la arquitectura bioclimática es aquella que tiene en cuenta el clima y las condiciones del *entorno* para ayudar a conseguir el *confort* higrotérmico... la arquitectura bioclimática no es otra cosa que la *racionalización* de lo *económico* y de todo el proceso constructivo, es decir que tiene en cuenta el costo global desde cómo se construyen los materiales, su transporte e incluso, su coste ambiental cuando acabe su vida útil.»<sup>34</sup>

La arquitectura bioclimática se define entonces con cuatro objetivos básicos:

- **Estética:** linea formal que busca la armonía entre forma estética.



- **Ecología:** una arquitectura que se integre en su entorno ecológico sin alterar el medio ambiente.
- **Tecnología:** con el correcto funcionamiento de los sistemas pasivos, activos y domóticos, integrados en la arquitectura se puede obtener un importante ahorro de energía, que beneficie directamente al usuario final e indirectamente a la sociedad en general.
- **Comodidad:** objetivo que se alcanza si se consiguen los tres primeros aspectos.

De la combinación de arquitectura bioclimática y la domótica nace un nuevo concepto llamado arquitectura *New-Tech*.

Condicionantes constructivos para edificios domóticos: En cuanto a los materiales constructivos a utilizar para la ejecución de un edificio domótico, deben ser:

- Aislamientos: de origen sintético, mineral o vegetal
- Acristalamiento: doble acristalamiento y control solar y luminoso.
- materiales con buenas aptitudes higrocópicas, sin ser de poro cerrado ni impermeables al vapor.

Evitar en todo momento caso materiales de toxicidad declarada sospechosa o radiactividad conocida o latente.

Por último cabe destacar que existen altas pérdidas de penetración de ondas debido a los materiales de construcción. Es por eso que la atenuación de señales empieza a plantear nuevos estándares de construcción.

## 2.5. Uso de la red en Smart Buildings

Según el estudio de Ayyash<sup>6</sup>, los operadores de telefonía afirman que el 80 % del tráfico móvil ocurre en el interior de edificios. Por lo tanto, la existencia de redes lo suficientemente potentes y estables son necesarias. puesto que es necesario cubrir la demanda.

La compañía Ericsson publica en uno de sus estudios<sup>2</sup>, que el dispositivo favorito para conectarse a la red es el teléfono móvil. Por lo que se estima que el 90 % de la población mundial (de más de 6 años de edad) tendrá un teléfono móvil en el año 2020. Si a este dato se suma el tiempo se pasa dentro de un edificio y que menos de la mitad de los usuarios están satisfechos con el servicio que reciben. Esta situación desembocará en una acción de mejora por parte de los operadores de todo el mundo, con el objetivo último de proporcionar conectividad interna estable y de calidad.

Por lo tanto, mientras que la realidad muestra unas macro redes exteriores bastante mejoradas, los interiores de los edificios presentan una situación totalmente diferente. La cual no debe demorarse mucho en su optimización debido a la demanda de nuevas redes interiores por parte del mercado.

## 2.6. Sistema PATHER en Smart Buildings

Se han realizado un estudio de mercado que determina los factores de uso de los sistemas de posicionamiento interior, a partir de los nuevos modos de vida y tendencias tecnológicas con las que convive la sociedad.<sup>2</sup>.

Los factores motivadores para la implantación del sistema PATHER en el interior de edificios, destaca por el desarrollo de esta nueva tecnología en plena expansión. A causa de la deficiencias existentes en geolocalización en interiores. Por otro lado, los factores intrínsecos a destacar serían:

- La alimentación eléctrica, donde debe primar el bajo consumo de energía y eficiencia.
- La precisión del sistema donde el margen de error obtenido debe ser suficiente.
- La seguridad del usuario y de los edificios donde se instale.

Los factores que resultan mas determinantes para el uso de los sistemas de posicionamiento interior como guía son, el tiempo de viaje y la dimensión de los edificios.

Estos factores condicionan de manera directa la elección de ruta de sus usuarios.

Otro agente que tiene una gran influencia es, el número de puntos calientes (concentración de personas en un punto determinado del edificio), donde las alternativas a lo largo de la ruta en función del estado que presente el edificio en tiempo real. Por último pero no por ello menos importante mencionar, la accesibilidad de los edificios que debe convivir en armonía con las limitaciones físicas de los usuario.

Como ya se ha mencionado anteriormente, el factor de seguridad es otro de los más importantes para la elección de una u otra tecnología de posicionamiento, y de ahí el gran interés en la inteligencia artificial para la optimización de datos (posible corrección de la distorsión de señales). La apreciación de la seguridad y comodidad de los usuarios finales se pueden ver afectadas por factores como el volumen de usuarios de una red y la proximidad o lejanía desde el inicio hasta el fin de la ruta. Por lo que es de gran interés resolver el aspecto referente a la optimización a la nueva infraestructura de posicionamiento y su adaptación al edificio.

Dado que un usuario del sistema PATHER, descarga, instala y usa una app en su dispositivo móvil, cabe mencionar investigaciones realizadas con el sistema de seguimiento de mirada en inglés Eye-tracking. Este tipo de tecnología estudian el comportamiento del usuario móvil frente a diferentes tipos de dispositivos electrónicos. En el caso del telefono movil el más usado para interactuar con apps. Siendo la utilizaión de apps, una de las tareas que lleva más tiempo de dedicación, consumiendo más tiempo incluso que la navegar por internet<sup>19</sup>. Gracias a este tipo de estudios se pude comprobar que las imágenes a mayor tamaño son las que captan la atención de los usuarios, por lo tanto las imágenes son las que registran el mayor componente emocional<sup>74</sup>.

Otro aspecto a tener en cuenta para una mejor experiencia del usuario son los tiempos de carga, donde a mayor tiempo de espera menor interés por el producto y mayor frustración. Parece lógico, pero el tiempo de respuesta del sistema PATHER es una de las claves de su éxito. Por ello los tiempos de cálculos de rutas realizados son mínimos y su lectura en tiempo real, no aceptando retrasos o perdidas de señal.

# 3

## Sistema PATHER

### Índice

---

<b>3.1. Introducción al Sistema PATHER . . . . .</b>	<b>45</b>
3.1.1. Que es el Sistema PATHER: Objeto de la invención . . . . .	45
3.1.2. Antecedentes del Sistema PATHER . . . . .	46
3.1.3. Descripción del Sistema PATHER . . . . .	48
3.1.4. Diseño conceptual . . . . .	51
<b>3.2. PATHER y la tecnología PLC . . . . .</b>	<b>53</b>
<b>3.3. Uso del Sistema PATHER . . . . .</b>	<b>57</b>
3.3.1. Motivaciones . . . . .	58
3.3.2. Factores favorables al uso del sistema PATHER . . . . .	59
3.3.3. Factores disuasorios y soluciones propuestas. . . . .	61
3.3.4. Aplicaciones del sistema PATHER . . . . .	63

---



## 3.1. Introducción al Sistema PATHER

En 2011 un grupo de investigadores de las Universidades de Málaga y Córdoba comenzaban a plasmar las primeras ideas sobre un nuevo IPS<sup>69</sup>. Las investigaciones siguieron su curso hasta que en Mayo de 2013 se presentó la solicitud del Modelo de Utilidad.

El 17 de Junio de 2013 se publicó en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial (BOPI), por el Ministerio de Industria Energía y Turismo, el Modelo de Utilidad que en esta tesis se describe. Número de publicación ES1082629 U<sup>20</sup>, titulado: Dispositivo electrónico para guiado de personas en el interior de un edificio, cuyo nombre comercial asignado es PATHER<sup>63</sup>.

Toda la documentación generada durante el proceso de obtención de Modelo de Utilidad y su posterior obtención de licencia de explotación se recoge en el *Anexo I: Tramitación del Modelo de Utilidad*:

- Memoria del Modelo de Utilidad.
- Publicación en el BOIP.
- Concesión del título de Modelo de Utilidad.
- Publicación en la Oficina Española de Patentes y Marcas.
- Título de Propiedad.
- Licencia de Explotación del Modelo de Utilidad.

### 3.1.1. Que es el Sistema PATHER: Objeto de la invención

El Sistema PATHER es una red de componentes electrónicos cuya finalidad es guiar a cualquier persona a través del interior de un edificio, mediante un sistema de navegación. La infraestructura de esta red está basada en dispositivos WiFi bajo PLC

(Power Line Communications)<sup>1</sup> que, enchufados en cada punto de corriente, crean un mallado de ondas suficientemente fino para triangular la posición del dispositivo móvil de navegación y guiar con precisión al usuario a su destino.

El uso del PLC<sup>83</sup> permite desarrollar una red privada de navegación que envía los datos a un servidor central y este, a su vez y a través de la misma red WiFi, provee al dispositivo móvil de la representación espacial del edificio y de su ubicación actual.

### 3.1.2. Antecedentes del Sistema PATHER

Los siguientes documentos son anteriores a Junio del año 2013, fecha en la que se presentó la documentación pertinente para la obtención del Modelo de Utilidad:

El documento EP2022278<sup>4</sup> propone un método para estimar la posición haciendo uso de las características de radiopropagación del punto de acceso WLAN en el que se presta el propio servicio WLAN. Un sistema de servicios basado en ubicación, dispone de múltiples de puntos de acceso WiFi en un área objetivo, y estos puntos disponen a su vez de posiciones geográficas y de áreas de cobertura de señal. El método propuesto para la caracterización de los puntos de acceso WiFi comprende la determinación de la localización del punto de acceso WiFi a la que sigue la división del área de cobertura de señal entre al menos una sección y, por último, determinar las características de radiopropagación para cada una de las secciones. Esta caracterización supone, por tanto, la descripción fehaciente de un canal radio correspondiente al punto de acceso WiFi, y puede ser utilizada en un algoritmo de localización.

El documento US2007109125<sup>108</sup> presenta un sistema y un método de posicionamiento preciso en el hogar haciendo uso de la tecnología RFID (Radio Frequency Identification). El ambiente propio del hogar se divide en diferentes localizaciones y se reparten a

---

<sup>1</sup>El uso de la red eléctrica como medio de comunicación de datos se remonta a 1994, fue entonces cuando se produjo un impulso digital de la red eléctrica. Se trata de comunicaciones mediante línea de potencia. Esta tecnología utilizan las líneas eléctricas convencionales para transmitir datos consiguiendo un acceso económico a Internet. De esta manera la red eléctrica se convierte en una línea digital de alta velocidad de transmisión de datos.

lo largo de las distintas ubicaciones una serie de tarjetas RFID. En cada una de las localizaciones se leen patrones de eventos de RFID que son recolectados en el lector a modo de muestras. Se hace uso de reconocimiento de patrones y clasificación de los mismos, sobre todo cuando un vehículo, una persona u otro elemento en movimiento se acerca al entorno del lector de tarjetas RFID, de modo que pueda estimarse su localización. La precisión del sistema propuesto se acerca al metro. El método es además adaptativo gracias a la configuración de diferentes parámetros.

El documento US2007049291<sup>55</sup> propone un sistema para determinar la posición en interiores haciendo uso de terminales móviles, mediante la designación de múltiples localizaciones virtuales mientras el terminal está en movimiento, o bien mediante el seguimiento y localización de un terminal específico gracias a la métrica de localización de las características de la comunicación propias del propio terminal.

El documento US2010109842<sup>82</sup> presenta un sistema de localización en interiores basado en la utilización de la tecnología PLC, así como dispositivos de inyección de señal en PLC y receptores para generar información relativa a las posiciones de los mismos en una estructura domiciliaria, residencial o empresarial. La utilización de la tecnología PLC permite alcanzar un nivel sub-estancia en la localización en interiores.

En el documento US2010259450<sup>51</sup> se propone un método sistémico de recepción de señales de radiofrecuencia que, al medir la atenuación de la potencia de señal entre la emitida y la recibida pueda inferir a qué distancia se encuentra el emisor del receptor de radiofrecuencia.

El documento US2009207694<sup>39</sup> reivindica un método para determinar la posición de dispositivos electrónicos móviles que incluyen emisión de pulsos acústicos desde la posición de dichos dispositivos móviles. Gracias al rango de fases entre los distintos puntos de emisión de pulsos puede establecerse una localización precisa de los emplazamientos en que se encuentran los dispositivos electrónicos.



### 3.1.3. Descripción del Sistema PATHER

La invención está formada por componentes electrónicos situados en la red eléctrica conectados en los enchufes o puntos de corriente existentes de un edificio, que poseen una antena de emisión-recepción de señal WiFi que detectan la distancia a la que se encuentra un dispositivo móvil. A través de la tecnología PLC, estos dispositivos se comunican entre sí formando una red privada que comunica los datos a un servidor central situado al final de la red eléctrica (centro de transformación). El servidor calcula las posiciones relativas del usuario y se establece su ubicación precisa dentro del modelo del edificio mediante triangulación múltiple. A partir de aquí se devuelve la información sobre su ubicación y el plano de posición al dispositivo móvil del usuario para que éste conozca su ubicación, la ruta a seguir o cuanto le queda para llegar a su destino.

Físicamente este dispositivo está estructurado en un cajetín que se inserta en cada punto de corriente existente en el edificio, oculto por la tapa del terminal eléctrico convencional instalado en ese punto, ya sea un enchufe, interruptor o borna de conexión. En cada uno de estos cajetines se integran los siguientes circuitos:

Un módulo de conexión a la red eléctrica de la que recibe energía y se conecta a la red PLC, a través de la que se comunica con el servidor central que controla el conjunto de dispositivos.

- Una **antena de emisión-recepción de señal WiFi** que detecta los dispositivos móviles de los usuarios para determinar la distancia a la que se encuentra en un momento dado.
- Una **baliza Bluetooth** que comunica con cada usuario, transmitiéndole la posición que indica el servidor central.
- Una serie de **indicadores LEDs** que señalan exteriormente el estado en el que se encuentran los diversos medios de conexión que ofrece cada uno de estos dispositivos.

Opcionalmente, en dicho cajetín se incluyen también los siguientes bloques con funciones más específicas:

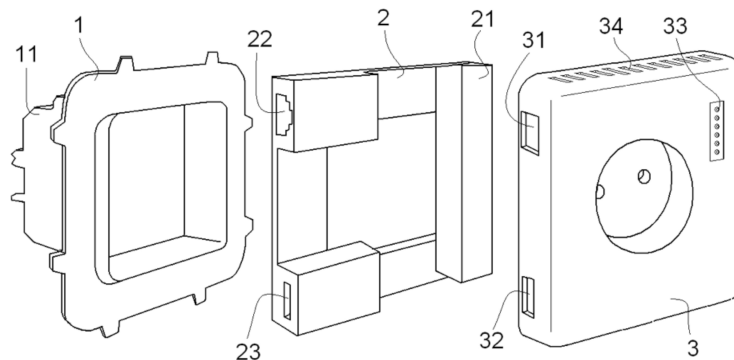


Figura 3.1: Despiece de una baliza PATHER

- Una **salida ethernet** a través de la cual se puede conectar a la red PLC generada, normalmente para poder acceder al servidor central desde cualquier dispositivo.
- Un **lector de tarjetas RFID** que permite detectar el movimiento de cualquier objeto que incorpore una etiqueta de identificación RFID, como puede ser un carro para transporte de maletas, de limpieza, etc. incluyendo personas invidentes que pueden portar una tarjeta en su ropa o en un bastón, para recibir indicaciones precisas sobre el camino a seguir sin margen de error.
- Un **puerto USB** (23) que permite configurar el dispositivo, por ejemplo para identificarlo, proporcionarle sus coordenadas espaciales iniciales, entre otros.

### Descripción de las figuras

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de facilitar la comprensión de las características de la invención, se acompaña a la presente descripción un juego de dibujos (Figura 3.1 y 3.3) en los que, con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

La **Figura 3.1** representa una vista en perspectiva del montaje de este dispositivo en una de las cajas de conexión de un enchufe de la instalación eléctrica del edificio en el que se instala.

Como se puede observar en las figuras referenciadas el dispositivo electrónico está destinado a su incorporación dentro de un sistema de guiado de personas en el interior de un edificio, que comprende una red PLC limitada al citado edificio, en la que un servidor central conectado a ella incorpora un software que permite calcular las posiciones relativas del usuario, estableciendo su ubicación y la devolviéndola al dispositivo terminal móvil del mismo, a través de cada uno de estos dispositivos.

Este dispositivo está integrado en un cajetín (2), insertado en cada punto de corriente (1) existente de un edificio, oculto por una tapa (3) del terminal eléctrico convencional instalado en ese punto. El punto (1) incorpora medios de acoplamiento mecánico en el interior de una caja registro no representada y medios eléctricos (11) que dependen del tipo de terminal, pudiendo tratarse de un enchufe, un interruptor o incluso una simple caja de bornas de conexión. Este punto (1) dispone de una tapa (3) que incorpora la conexión de enchufe correspondiente como la de la Figura 3.1, el interruptor o simplemente es una tapa de una caja de conexión.

Cada uno de estos módulos (2) presenta una placa de contorno equivalente a los elementos (1) y (2), con un hueco interior que da paso a la conexión desde la tapa (3) si es necesaria y periféricamente una serie de circuitos que cumplen funciones que se especificarán más adelante.

Por su parte la tapa (3) presenta unas ventanas (31) y (32) en consonancia con las conexiones de tipo Ethernet (22) y USB (23) del módulo (2). Por los cantos dispone así mismo de varias ranuras (34) para refrigeración del dispositivo y frontalmente de una ventana en la que asoman varios LEDs (33) indicadores del funcionamiento de las diversas opciones del dispositivo. Esta ventana puede ser abierta o susceptible de cerrarse mediante una corredera. Para ello se han desarrollado dos modelos de tapa embellecedora diferentes, tal y como se muestra en la Figura 3.2.

En la **Figura 3.3** se observan los bloques funcionales incluidos en el módulo (2) y su interconexión. Se describen a continuación:

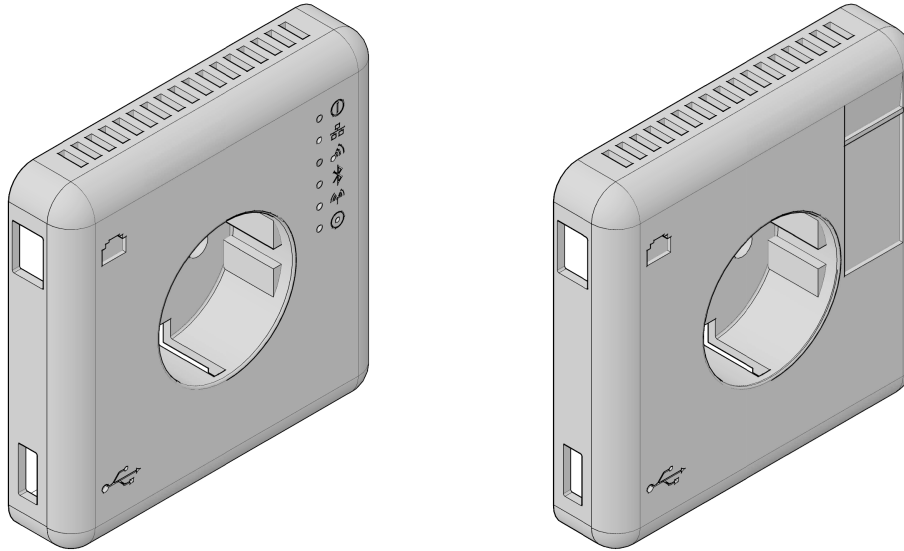


Figura 3.2: Diseño de la tapa embellecedora. Dos modelos diferentes

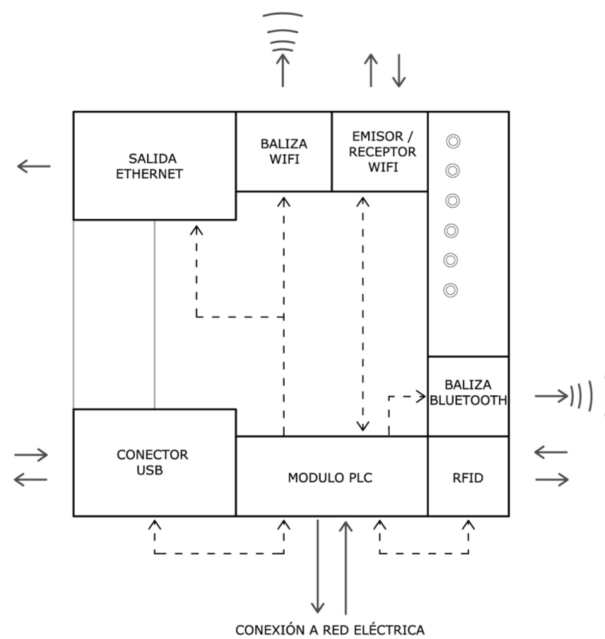


Figura 3.3: Descripción del PATHER

- Un medio de conexión a la red eléctrica de la que recibe energía y a través de la que se conecta a la red PLC, por la que comunica con el servidor central que controla el conjunto de dispositivos.
- Una antena de emisión-recepción de señal WiFi que detecta los dispositivos móviles de los usuarios para determinar la distancia a la que se encuentra en un momento dado.
- Una baliza Bluetooth que comunica con cada usuario, transmitiéndole la posición que indica el servidor central.
- Una serie de LEDs que señalan exteriormente el estado en el que se encuentran los diversos medios de conexión que ofrece cada uno de estos dispositivos.
- Una salida ethernet (22) a través de la cual se puede conectar a la red PLC generada.
- Un lector de tarjetas RFID que permite detectar el movimiento de cualquier objeto que incorpore una etiqueta de identificación RFID.
- Un puerto USB (23) que permite configurar el dispositivo.

Cada uno de estos dispositivos, a través de la tecnología PLC, se comunica con el resto formando una red privada que comunica los datos a un servidor central, que calcula las posiciones relativas del usuario y se establece su ubicación precisa dentro del modelo del edificio mediante triangulación múltiple. A partir de aquí el servidor devuelve al dispositivo correspondiente la información correspondiente a la ubicación del usuario y éste, a través de la baliza Bluetooth, transmite al terminal móvil del usuario esta información para que conozca su ubicación.

Una vez descrita suficientemente la naturaleza de la invención, así como un ejemplo de realización preferente, se hace constar a los efectos oportunos que los materiales, forma, tamaño y disposición de los elementos descritos podrán ser modificados, siempre y cuando ello no suponga una alteración de las características esenciales de la invención.

### 3.1.4. Diseño conceptual

Puesto que el sistema PATHER en general representa una tecnología de posicionamiento totalmente innovadora, se le ha querido acompañar con un diseño de baliza que se anticipe a las exigencias y necesidades del mercado.

Partiendo de una serie de especificaciones del producto:

- Adaptable al tamaño de las cajas de empotrar universales. Independientemente de la superficie de soporte (pared de obra o pladur).
- Dimensiones reducidas.
- Anti-vandálico.
- Fácil y rápido de instalar y mantener por personal cualificado.
- Activación y desactivación solo accesible a personal autorizado.
- Multifunción, permite utilizar el punto de conexión eléctrica donde se instala.
- Fabricado en termoplástico ignífugo, auto extingible, libre de halógenos, de baja toxicidad y de alta resistencia al impacto.
- Proceso de fabricación: moldeo por inyección, con un alto índice de productividad y bajo coste.
- Integrable en el entorno. Disponible en varios colores.
- Fácil de limpiar.
- Utilización de simbología estandar para una fácil comprensión en la interpretación de estados a través de los indicadores LEDs.

Tal y como se muestra en la Figura 3.4, los **LEDs indicadores de estado** mostraran el estado del sistema y el de cada punto de la red en cada momento. Gracias al uso de indicadores LEDs se puede realizar una supervisión rápida de cualquiera de los dispositivos que forman de la red interior, mediante luces indicadoras de estado, encendido apagado, correcto funcionamiento:

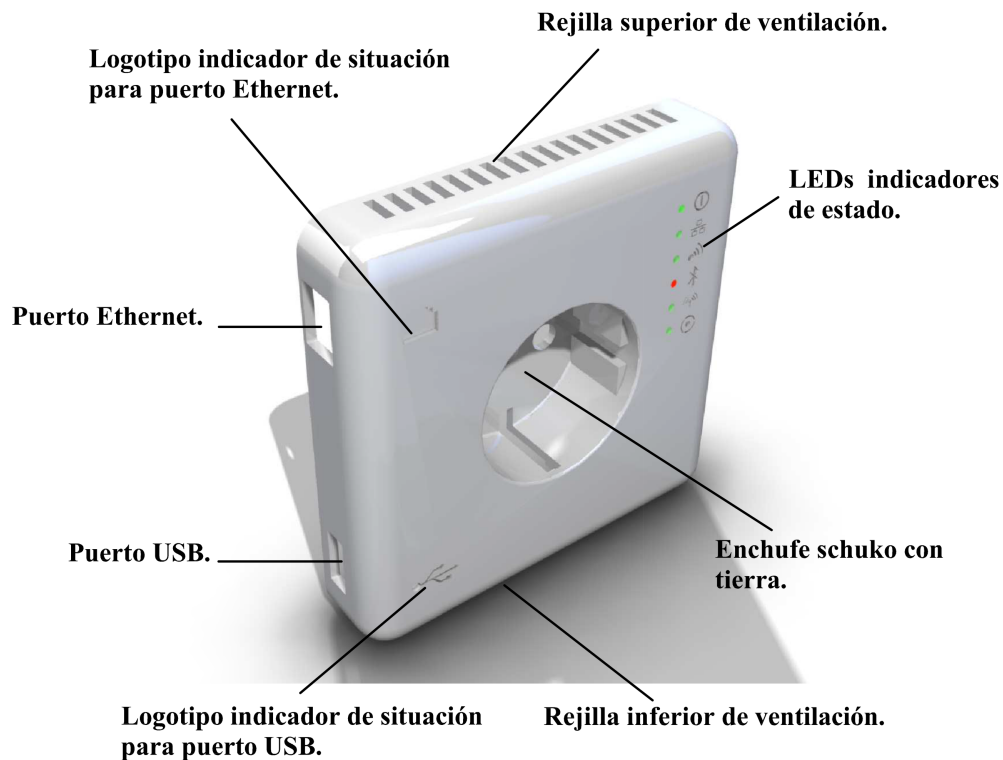


Figura 3.4: Render Baliza PATHER. Modelo 1.

- Alimentación, encendido apagado.
- Conexión Ethernet con la red general PLC del edificio.
- Transmisión RFID.
- Transmisión Bluetooth.
- Transmisión WiFi.
- Rendimiento de la red.

Los LEDs indicadores mostrarán color verde para el correcto funcionamiento o encendido y en contra posición rojo para avería o pagado.

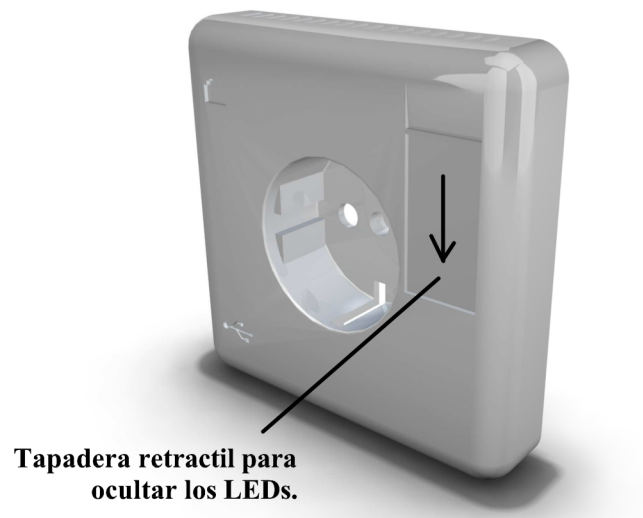


Figura 3.5: Render Baliza PATHER. Modelo 2. LEDs ocultos.

## 3.2. PATHER y la tecnología PLC

El sistema PATHER como se ha descrito en los apartados anteriores ha sido diseñado sobre una red basada en dispositivos WiFi bajo PLC<sup>83</sup>, de manera que se aprovechan los puntos de corriente existente, creando para una malla de puntos lo suficientemente distribuida y con capacidad de posicionamiento bastante exacta. A continuación se hace una breve descripción del estado del arte en PLC. Mostrando la situación actual de la tecnología y las posibilidades de desarrollo.

Como ya se ha descrito anteriormente, la tecnología PLC se basa en la utilización de las líneas de distribución eléctricas como soporte físico para la transmisión de información.

La idea principal de esta tecnología es no tener que cablear cualquier edificio para crear una nueva LAN. Esto es necesario cuando algunas de las zonas en el edificio no tienen tomas de interconexión o de teléfono. Lo que si tendrán normalmente serán tomas de corriente eléctrica. En una red PLC, se interconectan los ordenadores a través de estas tomas o enchufes. Al no necesitar ningún cableado adicional, una red PLC es una de las maneras más económicas de interconectar equipos entre diferentes espacios.



**Entorno PLC :** Las líneas de distribución eléctrica que parten desde las centrales eléctricas y llegan a cada usuario final están formadas por diferentes tramos. Se pueden diferenciar dichos tramos en alta, media y baja tensión.

El tramo original, que abarca desde la central eléctrica hasta un transformador amplificador, lleva una tensión media de entre 15 y 50 Kv.

El siguiente tramo, comprendido entre el primer transformador amplificador y la primera subestación de transporte, transporta una tensión alta de entre 220 y 400 Kv.

A partir de aquí surge el tramo de tensión media, que parte de las subestaciones de transporte hasta las subestaciones de distribución, y que son las encargadas de repartir la electricidad a todos los centros de distribución. La tensión transportada oscila entre 66 - 132 Kv en el primer tramo y 20 - 50 Kv en el segundo tramo.

Desde los centros de distribución hasta cada abonado se distribuye la energía eléctrica como corriente alterna de baja frecuencia (50 o 60 Hz), llevando una baja tensión situada entre 220 y 320 v.

La tecnología PLC usa esa baja tensión a una alta frecuencia (entre 1,6 y 30 Mhz.) haciendo posible la transmisión de todo tipo de información. Para la transmisión de datos existen tres redes involucradas que son la red IP o de transporte, la red de distribución o media tensión y la red de acceso o baja tensión que es el sustituto del bucle del abonado.

**Modulación Empleada :** La señal PLC va modulada entre 1,6 y 40Mhz dependiendo del sistema. Actualmente no existe un estándar, si no un grupo de sistemas diferentes e incompatibles entre sí. Básicamente se usan 3 tipos de modulación:

1. DSSSM (Direct Sequence Spread Spectrum Modulation). Puede operar con baja densidad de potencia espectral (PSD).

2. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex). Que usa un gran número de portadoras con anchos de banda muy estrechos (ejemplo, Codengy y DS2).
3. GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying). Es una forma especial de modulación en banda estrecha (ejemplo, Ascom).

### Componentes de una conexión PLC :

Cabecera PLC: Por el lado de la compañía eléctrica y en la subestación transformadora, se debe de colocar un modem de recepción de datos que garantizaría una conexión a alta velocidad. Mediante una fibra o un radio enlace se conectaría con el proveedor de servicios.

- Repetidor PLC.
- Filtro de Banda Baja (\*).
- Filtro de Banda Alta (\*).
- El filtro de BB y el de BA formarían lo que es el MODEM.

De manera más genérica, para poder disfrutar de ésta tecnología son necesarios varios dispositivos:

- **Módem PLC:** Es el dispositivo instalado en el hogar, empresa, o edificio entre otros del abonado y permite tanto la transmisión de datos como el servicio telefónico por voz.
- **Repetidor:** Es instalado generalmente en el cuarto de contadores de una empresa, comunidad o parcela y es el dispositivo que se conecta con el módem del usuario. Su función principal es la de regenerar la señal PLC y permite la conexión de hasta 256 módems.
- **Dispositivo Head End:** Este dispositivo situado en los centros de las compañías eléctricas se conecta con los repetidores. Estos equipos están preparados para conectarse con redes IP (Ethernet) y existen dos tipos de equipos Head End, de media tensión (MT) y baja tensión (BT) teniendo un alcance de 600 m. MT y 300 m. BT. La topología de una red PLC simplemente consiste en la

conexión a baja tensión del módem por parte del usuario y dicho dispositivo comunica, mediante un sistema protegido de algoritmos (propiedad de la compañía valenciana DS2 encargada de la fabricación de chips PLC hasta 2009, cuando el grupo tecnológico multinacional Marvell se hizo con los activos y los derechos de propiedad intelectual ), con el repetidor situado en el cuarto de contadores.

Este tramo de conexión entre el módem y el repetidor dispone de una velocidad de 45 Mbps distribuidos en 27 Mbps de bajada y 18 Mbps de subida y ésta comunicación es compartida por todos los usuarios que dependen del mismo repetidor. Esto indica que si en un repetidor concurren 100 conexiones la velocidad teórica de bajada es de 270 Kbps pero si las conexiones son 10 la velocidad será de 2,7 Mbps, siendo más ventajoso que el ADSL que dispone de un máximo de velocidad de 256 Kbps.

El siguiente tramo de la topología es el perteneciente a media tensión y corresponde a la conexión entre el repetidor y el equipo Head End. El próximo nivel trata la comunicación entre equipos Head End ubicados en los diferentes centros de las compañías eléctricas. La velocidad de transferencia en estos tramos es de 135 Mbps y se realiza por medio de redes de transporte Gigabit Ethernet (1000 Mbps) o SDH/Sonet (red de telefónica de fibra óptica de hasta 40 Gbps).

Gigabit Ethernet también conocida como GigaE, es una ampliación del estándar Ethernet (concretamente la versión 802.3ab y 802.3z del IEEE) que consigue una capacidad de transmisión de 1 gigabit por segundo, correspondientes a unos 1000 megabits por segundo de rendimiento contra unos 100 de Fast Ethernet (también llamado 100-Base/T).

**Red PLC doméstica :** Aunque el sistema comercial PLC no necesita de conexión a Internet en el edificio, pues se enviaba directamente con la electricidad, en el caso de redes domésticas el uso del PLC a nivel particular, sí que se necesitar tener una conexión a Internet.

Como ya se viene mencionando, no se usa la red PLC para tener Internet en el edificio sino para distribuir la señal por el mismo haciendo uso de la instalación eléctrica. Donde haya un enchufe de forma general, se tendrá Internet con solo conectar un adaptador PLC. En el caso de edificios con varias fases se debe tener en cuenta equipos que puedan trabajar saltando de una a otra, pues de lo contrario no se podrá usar Internet. Si en el edificio el usuario tiene que acceder a Internet desde cualquier lugar pero existen problemas con la señal WiFi, los adaptadores PLC son la solución más sencilla. En la actualidad, otro uso casi más importante que el de no depender de la WiFi, es de dotar de conectividad a equipos que lo necesitan y en los que no disponemos de posibilidad de conexión sin cables. Sí se tiene en ellos puertos Ethernet.

Para poder usar esta tecnología es necesario un kit de adaptadores PLC. Se coloca uno junto al módem o router y desde ese momento Internet estará distribuyéndose por la instalación eléctrica del edificio junto con la energía eléctrica.

Cuando se quiera conectar un equipo o en este caso un dispositivo PATHER a la red solo hay que instalarlo en un punto eléctrico.

Finalmente la instalación PLC destaca por: llevar la conexión a Internet a cualquier lugar, mediante una instalación sencilla y rápida, sin necesidad de cableado extra, con una velocidad de transmisión alta, con conexión permanente y que proporciona una red segura. En contraposición no se puede olvidar que su rendimiento y las posibles interferencias dependen del estado en el que se encuentre de la instalación eléctrica.

### 3.3. Uso del Sistema PATHER

Debido a los grandes avances y desarrollos producidos en el campo de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) que da como resultado una aplicación generalizada, fiable y asequible de Internet. La capacidad de conectar varios dispositivos entre sí (Iot) hace posible el uso del sistema PATHER y su conectividad inalámbrica le agrega

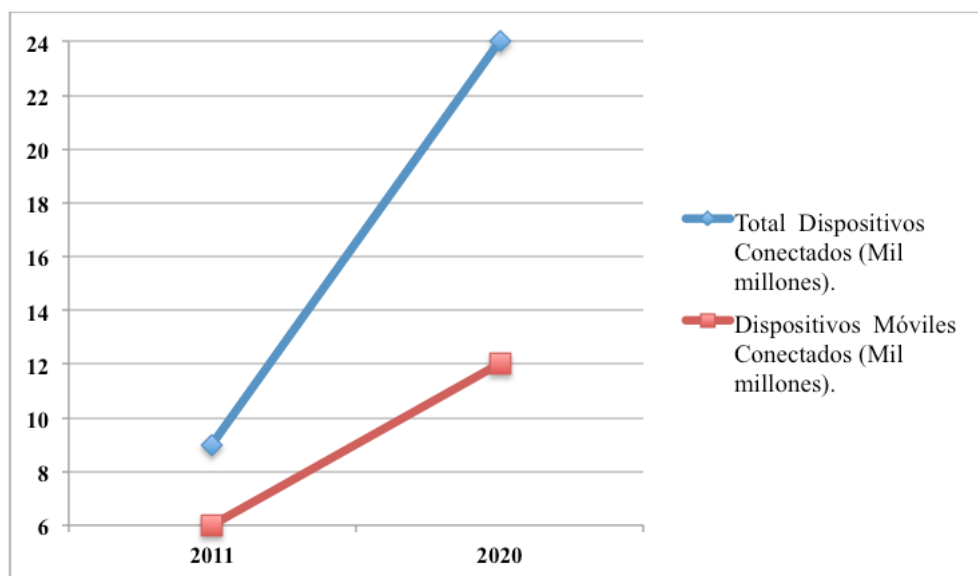


Figura 3.6: Previsión de Conexión Iot para el año 2020

un valor añadido.

Según un estudio de Figueredo, el número de dispositivos equipados con Internet superó a la población mundial en 2011<sup>29</sup> alcanzando los 9 mil millones de dispositivos interconectados, y se estima llegar a 24 mil millones en 2020. Dichos datos se muestran gráficamente en la Figura 3.1,

La Asociación GSM<sup>38</sup> (abreviado GSMA) predice que estos dispositivos darán como resultado en 2020 ingresos de 1,2 billones de dólares para las operadoras de redes móviles. IoT es un campo diverso y abarca ampliamente la comunicación de máquina a máquina (M2M), redes inteligentes, edificios inteligentes y ciudades inteligentes entre otros. Se busca proporcionar soluciones novedosas tanto en el campo residencial como empresarial a través de las últimas tecnologías de una manera eficiente y confiable de la energía, sin poner en peligro el nivel de servicio y comodidad para los usuarios.

La industria móvil aporta nuevas oportunidades, es por todo esto que se auguran nuevos horizontes para el Sistema PATHER, la conectividad agrega valor a los dispositivos en general, por lo que se tiene la firme convicción de que PATHER aportará un alto

valor a la conectividad de los edificios públicos y privados donde se implante.

### 3.3.1. Motivaciones

Los usuarios habituales de los sistemas de posicionamiento, tanto exterior como interior, tienen como motivo principal varios aspectos, entre ellos destaca una mayor precisión y localización, un mayor rendimiento, aumento de la seguridad y eficacia en los desplazamiento. Un análisis de los factores favorables y disuasorios que afectan al uso de los sistemas de posicionamiento en interior, permite un mejor ajuste de los objetivos y el diseño de las infraestructuras necesarias para la implantación del sistema PATHER.

### 3.3.2. Factores favorables al uso del sistema PATHER

El sistema PATHER nace de la idea de mejorar la experiencia de los inquilinos dentro de los edificio. Por lo tanto es de interés para esta investigación la sensación que este sistema pueda causar a sus usuarios.

Tal y como se ha presentado en el Capítulo 2, los edificios inteligentes son aquellos que proporcionan a sus usuarios, servicios de bajo costo como por ejemplo: aire acondicionado, calefacción, ventilación, iluminación, seguridad y ahora también posicionamiento, y todo ello sin afectar negativamente al medio ambiente, proporcionando el más alto nivel de confort y eficiencia.

Por ejemplo, cuando un usuario entra a un edificio inteligente, la temperatura, humedad e iluminación se ajustan según un nivel de confort personalizado, incluso su ordenador o herramientas de trabajo se activan<sup>106</sup>.

Paralelamente, la interconexión de los sistemas de automatización ayudan a la gestión de posibles desastres y puede proporcionar servicios de emergencia. Tal es así que gracias a los edificios inteligente, los daños se pueden reducir significativamente. Como ejemplo, cabe mencionar el ataque al edificio del Pentágono (sede del Departamento de Defensa de los Estados Unidos, en el estado de Virginia) el día 11 de Septiembre de 2011. Gracias a que dicho edificio había sido remodelado escasos meses antes, convirtiendose

en un edificio inteligente, y utilizando para su gestión los más novedosos avances en domótica hasta dicho momento, se pudo evitar un desastre mucho mayor<sup>94</sup>.

Por lo tanto para cualquier usuario del nuevo sistema PATHER, incrementará su seguridad, autonomía e información en sus desplazamientos interiores:

- **Seguridad personal del inquilino:** que es guiado en todo momento. PATHER muestra las rutas más cortas y que mejor se adapten a las necesidades personales del usuario. De este modo se evitan pérdidas de tiempo y situaciones de riesgo para los mismos.
- **Autonomía e independencia en los movimientos:** donde cualquier persona es capaz de alcanzar su destino de manera autónoma, en cualquier parte del mundo y sin necesidad de conocer el idioma. El sistema PATHER se encarga de guías mediante imagen y o voz en todo momento, siendo una herramienta muy útil a personas invidentes o sordomudas.
- **Interfaz de usuario:** es otro de los aspectos favorables del uso del PATHER. Gracias al desarrollo de una interfaz de usuario, fácil e intuitiva. El desarrollo de grandes gráficos a color tienen como objetivo captar la atención del usuario y la la posibilidad de obtener vistas en 2D y 3D de las rutas y espacios a recorrer. Además se tiene la posibilidad de mostrar información alternativa al usuario en función del edificio donde se encuentre. Por ejemplo ofertas en edificios comerciales, o recomendaciones de seguridad en aeropuertos entre otras.
- **Inmediatez de la información:** debido al alto desarrollo de las nuevas tecnologías los usuarios son cada vez más exigentes. Es necesario para el éxito de esta tecnología de posicionamiento interior, reducir los tiempos de espera a décimas de segundo. Mostrando la posición exacta en tiempo real, y recalculando rutas en función del estado del edificio. Por otro lado es importante que la descarga de la App móvil sea rápida y gratuita. Estando disponible en las principales plataformas de distribución actuales.
- **Consumo de energía:** el consumo de energía en el sistema de posicionamiento PATHER, se divide en dos grupos:

*Consumo de las balizas:* Las balizas PATHER utilizan entre otras tecnologías inalámbricas, RFID activo con el objetivo de conseguir un mejor alcance. Dado que cada baliza PATHER se alimenta directamente de la red eléctrica, se evita cualquier problema de batería y bajo rendimiento asociado a ello.

*Consumo del dispositivo móvil del usuario:* Se aconseja activar el modo ahorro de batería mientras se usa cualquier herramienta de posicionamiento ya sea interior o exterior.

Por otro lado, desde el punto de vista del gestor del edificio, existen varios aspectos importantes a tener en cuenta:

- **Seguridad del edificio:** que finalmente repercute tanto en los usuarios finales como en los gestores del mismo. La información de aglomeraciones en diversos puntos de la red en tiempo real, ofrece la posibilidad de gestionar diversas situaciones. Los estudios que el sistema PATHER puede realizar de las situaciones interiores son de gran valor social y económico.
- **Control remoto del sistema:** gracias a la conexión permanente de un servidor central que a su vez está enlazado directamente a Internet, facilita el chequeo del sistema de manera remota. Disminuyendo los recursos y minimizando los gastos de mantenimiento. Puesto que un técnico competente puede evaluar los fallos y rearmar cada punto de la red de manera remota. Evitando los desplazamientos innecesarios para la solución de la mayoría de averías. Por todo esto, la reducción de costes en el mantenimiento del sistema se convierte en un aspecto favorable y a tener en cuenta, a la hora de plantear los tiempos de amortización de este sistema en un edificio.

### 3.3.3. Factores disuasorios y soluciones propuestas.

En el apartado anterior ya se menciona el tema económico. Se tiene en cuenta que este tipo de sistema tiene por un lado, un coste de implantación inicial alto y por otro, un coste fijo de mantenimiento muy bajo.



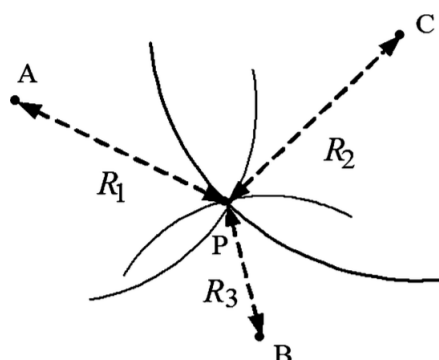


Figura 3.7: Posicionamiento basada en mediciones TOA / RTOF<sup>61</sup>.

Partiendo de la base de que este IPS genera un valor al edificio donde se implanta aportando beneficios directos e indirectos a los inversores, su tiempo de amortización será relativamente bajo.

Para disminuir la repercusión de los aspectos disuasorios *costes*, se realizan estudios personalizados del edificio en concreto donde se desea instalar, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- **Optimización del diseño de red:** disminuyendo el número de balizas de una red, instalando sólo las mínimas y necesarias. Cuya premisa es la de obtener una red óptima, siempre velando por el correcto funcionamiento de la misma, eliminado en todo caso puntos muertos o zonas de interferencias. La reducción de costes favorece directamente su fácil expansión. Siendo el aprovechamiento máximo de recursos uno de las características primordiales de esta tecnología.
- **Exactitud de localización:** el propósito principal del uso del Sistema PATHER en cualquier edificio inteligente equipado con IoT, es ubicar a cualquier usuario dentro del mismo para proporcionar servicios y soluciones eficientes. Y para lograrlo es necesario un cálculo muy ajustado de la posición. Con el uso de las varias tecnologías que incluye cada baliza PATHER y utilizando técnicas de triangulación en su vertiente de lateración (más conocida como técnica de medición de alcance)<sup>61</sup>.

El uso de diversas técnicas de filtrado puede mejorar la precisión de las tecnologías

utilizadas. Según un estudio de Zafari<sup>106</sup> la precisión de localización de objetos mediante balizas (posición conocida) puede mejorarse usando algoritmos, como es el filtro de Kalman.

- **Interoperatividad:** existen en el mercado varias tecnologías de posicionamiento de interior que proveen soluciones eficientes, pero estas carecen de interoperatividad entre ellas. Por ejemplo las tecnologías basadas en UWB (Ultra-Wide-band) banda ultra ancha (que tienen la mayor precisión hasta ahora conocidas) y las iBeacon (basa en estimaciones). De cara al usuario final este no es un aspecto que deba tener en cuenta, puesto que lo importante para el es la precisión del posicionamiento.

Para solucionar el aspecto de la interoperatividad deficiente se debe tener en cuenta tres aspectos diferentes: La tecnología, el desarrollo del software y el uso de protocolos estandarizados.

- **Ataque a la red:** tanto los sistemas de posicionamiento como los IoT pueden ser un punto de entrada para cualquier ataque de la red, por lo que abordar el tema de seguridad en este campo es bastante importante. Cada baliza que permita la implementación de tecnología o servicio debe abarcar los siguientes componentes:
  - Autenticación.
  - Autorización.
  - Control de Acceso y Política de Cumplimiento de la Red.

Por otro lado la información del usuario se guarda en la nube y se destina a fines de marketing, sin embargo puede ser utilizada para despropósitos de una manera peligrosa para el sistema en general. A su vez los ataques de red, pueden manipular datos que afecten a la gestión del edificio y al propio usuario. Se plantea aquí una búsqueda de protocolos y métodos de seguridad que garanticen una alta seguridad del sistema de posicionamiento.

### 3.3.4. Aplicaciones del sistema PATHER

Como ya se ha mencionado anteriormente, las aplicaciones de este sistema son infinitas. Por lo tanto, esta tesis contribuye al desarrollo de las nuevas tecnologías de la comunicación y la información.

Con el objetivo de mostrar una leve pincelada del alcance de dicho sistema, a continuación se enumeran una serie de aplicaciones o casos de uso, basadas en algunos de los siguientes conceptos:

- Localización de objetos y personas.
- Control de calidad, producción, distribución.
- Control de stocks, inventario automático, pedidos.
- Control de la economía familiar.
- Fomento de la competencia empresarial.
- Información al consumidor.
- Reducción de tiempo y coste.
- Control de tiempos.
- Mejora continua de servicios.
- Seguridad.
- Control de aglomeraciones.
- Fomento de las relaciones sociales.
- Gestión de bases de datos.

Cada una de las puntuaciones anteriores, se pueden aplicar en espacios interiores, de infinidad de edificios públicos y privados. La explotación del sistema PATHER da infinidad de posibilidades al usuario de cada aplicación móvil desarrollada y al gestor

del sistema de cada edificio donde se implanta.

A continuación se describen cincuenta casos de uso, de diversa índole.

#### **Seguridad del estado:**

**Lugar:** Jefaturas de policía, cuarteles de la Guardia Civil y edificios destinados a la seguridad pública.

**Caso 1: Identificación de agentes.** Cada oficial tiene un rango diferente y a causa de ello tendrá acceso permitidos o restringido a las diferentes zonas. Si un agente entra a una zona restringida quedará registrado. Esos datos serán almacenados y supervisados.

**Caso 2: Localización de agentes.** Es de utilidad controlar la ubicación del personal de seguridad del estado. Si en cualquier momento ocurre un altercado, la rápida localización de los mismos es imprescindible. Con este sistema cada agente estará localizado tanto dentro como fuera de la sede de trabajo. Pudiendo contactar con aquellos que se encuentren más cerca del lugar del incidente.

**Caso 3: Información sobre multas.** Cuando un usuario entra en un edificio de seguridad del estado, ejemplo: comisaría de policía, cuartel de la Guardia Civil, tráfico. Será alertado sobre, sobre multas o sanciones pendiente. En caso de ser afirmativo, puede informarse personalmente de la solución más adecuada en su caso. Para ello será guiado al punto de información del edificio, donde un agente le comentará la solución más acertada.

#### **Educación:**

**Lugar:** Guarderías, colegios, institutos, universidades.

**Caso 4: Localización de aulas y despachos.** Para cualquier padre, madre o tutor de un alumno, encontrar el despacho de un profesor, jefe de estudio, director, o aula de profesores puede convertirse en una odisea. Con este dispositivo será guiado al lugar de la cita, o si prefiere será conducido hasta secretaría donde el personal resolverá las dudas.

**Caso 5: Información de los alumnos.** Cuando un alumno empieza a estudiar en un lugar nuevo, ejemplo: la universidad. Es de especial interés, la información referente a la ubicación de todos los servicios e incluso de los tramites que puede y debe hacer. Una opción sería la visita guiada por cada universidad, con información de áreas de trabajo en las que se está trabajando o se desee participar, puntos de información sobre prácticas en empresa en España y el extranjero, conferencias, cursos y mucho más.

El paso del bachillerato a la universidad es importante, los alumnos pasan a ser dueños de sus actos y a realizar gestiones administrativas nuevas e importantes. Los plazos son cerrados e inamovibles a la hora de matriculación, cambios de matrícula, solicitudes de becas o solicitud de cambio de turno. Esta aplicación mostrará alarmas, sobre estas fechas, recordando los plazos, e informando de todo.

**Caso 6: Reclamaciones de los alumnos:** Normalmente por falta de información y tiempo los alumnos no reclaman cuando existen anomalía en el servicio que se les ofrece, ya sea en cuanto a instalaciones deficientes o en el ámbito académico. Ejemplo: Un aula presenta falta de material, o un profesor falta a clase regularmente, dejando sin docencia a los alumnos y sin avisar previamente. De esta forma el alumno desde su teléfono móvil, puede hacer constar su queja. La entidad implicada registrará los problemas e intentará solucionarlo en el menor tiempo posible.

Sería de especial interés que los organismos públicos o privados encargados de pagar todos los gastos, fuesen consciente de todas estas anomalías y de las soluciones dadas. El fin común, es que todo funcione a la perfección y trabajadores del centro, docentes y alumnos estén en armonía.

**Caso 7: Localización alumnos:** Para cualquier padre o tutor de un alumno problemático o en problemas, es significativo tener información de su ubicación. Si hacen novillos, sale del recinto, o se queda en el patio sin entrar al aula oportuna. También puede ser muy útil en alumnos que sufran casos de acoso escolar (en inglés bullying).

**Caso 8: Control de asistencia:** Cada profesor pasará lista en el aula, marcando en la aplicación aquellas personas que faltan. En ese momento el director o jefe de estudios del centro recibirá una alerta. Si el alumno está dentro del recinto educativo, aparecerá marcado en el plano, localizándolo, y siendo amonestado por su mal comportamiento. Al final de la jornada de estudio, el padre, madre o tutor del alumno recibirá información de las faltas de asistencia del estudiante, quedando informado cada día. El responsable del alumno deberá justificar las faltas si procede.

#### **Control de información:**

**Lugar:** Registros, bibliotecas, archivos, juzgados, administraciones.

**Caso 9: Localización de libro, archivo:** La localización exacta de libros o archivos es muy interesante en las grandes bibliotecas o registros. Con el uso de tarjetas y el sistema RFID, el usuario puede localizar el libro que buscaba, siendo guiado hasta el. Hasta ahora si un libro se cambiaba de estantería era casi imposible encontrarlo. Con la aplicación de este sistema es improbable su extravío.

El sistema tendrá gran relevancia en el registro de lo penal, donde actualmente se almacenas miles de casos sin resolver y donde es destacable la falta de orden debido al número de casos pendientes. Dar solución a este problema es una actuación de primera necesidad, mientras no se decida digitalizar todos los documentos.

**Caso 10: Localización de piezas y control de Stock.** La localización de piezas en un almacén es de especial interés. Por lo general en los almacenes e piezas de vehículos, la cantidad de tipos de piezas es tan elevado, que los propios empleados, no encuentran lo que buscan puesto que no controlan el stock. Este descontrol implica el almacenaje de piezas de por vida, comprando producto sin darle salida

al existente. A causa del metal de las piezas pueden existir interferencias con el RFID.

**Caso 11: Localización de piezas a nivel mundial.** En caso de maquinaria de grandes dimensiones que se fabrica en un país determinado y se distribuye a nivel mundial. Pueden averiarse y quedar inservibles siendo sustituidas por otras. Esta maquinaria debe ser repuesta en el menor tiempo posible. Un técnico, introduciendo la marca y el código de la máquina, puede localizar todos los puntos del mundo donde existe esta pieza o maquina. Localizar el lugar más cercano, el transporte más barato, o el mejor precio. Cada almacén tendrá un registro del numero de piezas de cada tipo y sabrá su ubicación. Dentro de sus grandes almacenes.

Una vez localizada la pieza y seleccionado el proveedor, hace su pedido. Sin necesidad de realizar múltiples llamadas en diferentes idiomas. Disminuyendo la dificultad de localización y comunicación. Repercutiendo directamente en el menor tiempo de espera, porque el cliente puede saber en todo momento el paradero, recorrido de la pieza y el medio de transporte utilizado para su desplazamiento.

**Estacionamiento:**

**Lugar:** Aparcamientos públicos y privados.

**Caso 12: Identificación de vehículo.** Cuando se estaciona el vehículo en un aparcamiento, es reconocido a la entrada y salida del mismo por su matricula. El usuario será guiado a la plaza de aparcamiento libre, más cercano a la salida peatonal. La persona que conduce el automóvil podrá abandonar el vehículo sin fijarse ni recordar en que zona. A su vuelta, la aplicación lo guiará hasta el vehículo. Tendrá control del tiempo de estacionamiento y el coste del servicio de aparcamiento pudiendo pagarlo a través del móvil sin necesidad de pasar por el cajero.

La aplicación generará un código Bidi, donde guardará la información de hora de entrada, salida, posición del vehículo entre otros muchos datos. El código podrá ser validado en tiendas, restaurantes, etc, si el usuario del aparcamiento realiza una serie de compras, apremiándolo con horas de aparcamiento gratuito.

**Comercial:**

**Lugar:** Centros comerciales, tiendas, supermercados, zonas de ocio.

**Caso 13: Busca un producto concreto.** Un cliente busca un producto en particular.

Introduciendo el nombre del producto, la aplicación guía al consumidor por el camino más corto o el más accesible. Se acabó perder el tiempo dando vueltas innecesaria por todo el comercio. Todo cliente sabe que al comercio le conviene pasear a los usuarios por todos los pasillos, de manera que compren cosas que no pensaban. Se supone que la empresa será legal en este sentido y dará la opción de mostrar caminos realmente efectivos.

**Caso 14: Lista de la compra.** Habitualmente las familias realizan compras periódica

bastante grandes. Gracias a esta aplicación, ahora puede hacerse la lista en casa, directamente apuntarlo en la aplicación de su teléfono móvil, en una sección especial. Una vez que el usuario llega al establecimiento, la aplicación trazará el camino más apropiado y le guía por los pasillos indicando la situación de los productos que previamente apunto en su lista de la compra.

**Caso 15: Precio de la compra.** Una vez realizada la lista de la compra en casa, el

cliente puede saber el precio total de la misma. Y comparar el precio en diferentes supermercados evitando las no sorpresas al llegar a la caja. El usuario tiene la posibilidad de decidir cuanto quiere pagar por cualquier producto, teniendo en cuenta la relación calidad precio en todo momento. Se trata de una aplicación para todo tipo de usuarios interesados por la economía familiar. De este modo se controla perfectamente los gastos a la vez que se crea una competencia más activa del mercado.

**Caso 16: Información de promociones.** Mientras el cliente realiza la compra, recibe

alertas en la pantalla de su móvil, indican las ofertas existentes en la sección donde se encuentra.

**Caso 17: Control de Stocks.** Conseguir un control de stock actualizado en tiempo

real, se consigue relacionando los datos que proporciona la caja registradora, el



personal reponedor y la mercancía disponible en almacén. La suma de todos estos datos indican el stock disponible en tienda. Todo ello se indicará mediante una aplicación en el teléfono móvil. Convirtiendo el proceso en un inventario automático y continuo de mucho valor tanto para los gestores de la tienda como para los clientes de la misma.

**Caso 18: Rendimiento del trabajo.** Cada vez que un trabajador hace una tarea que-  
da registrada en la base de datos del servidor central, de esta manera no solo se  
recoge información de la actividad, sino que automáticamente, se esta identificando  
a la persona que lo ha realizado, día, hora en que empieza y termina de hacerlo  
(es una forma de medir la eficiencia). También sirve para controlar hora de llegada  
y salida, horas totales trabajadas entre otras. Tanto empleado como trabajador  
obtendrán un informe con el que poder calcular el rendimiento personal durante  
el trabajo durante la jornada, convirtiéndose en una herramienta motivadora para  
el empleado, premiando altas eficiencias, o penalizando el absentismo laboral entre  
otros aspectos.

**Transporte:**

**Lugar:** Aeropuertos, estaciones de metro, tren o autobuses.

**Caso 19: Tiempo de llegada a un punto de destino.** Un viajero que accede a las  
instalaciones del aeropuerto, estación de metro o tren, sabrá en todo momento  
cuanto tiempo le va a llevar pasar la cola de facturación, seguridad, llegar a  
la puerta de embarque, ir al baño más cercano, localizar tiendas, restaurantes,  
puntos de información, y en general cualquier lugar del recinto donde tenga acceso  
el usuario. En el cálculo de tiempos además de las distancias también se tiene en  
cuenta la velocidad a la que se mueve el usuario y las aglomeraciones de personas  
en diferentes puntos del edificio. De esta modo se pueden buscar alternativas mas  
rápidas evitando dichos puntos calientes en el plano.

Si existe alguna modificación de ultima hora, por ejemplo: en la hora de salida  
del avión, tren o metro, el usuario recibirá un mensaje de alerta a través de la

aplicación. Ofreciendo alternativas de como aprovechar el tiempo de espera en el aeropuerto o estaciones de tren.

#### **Arte y cultura:**

**Lugar:** Museos, monumentos, exposiciones, galerías.

**Caso 20: Guía para viajeros, visita a museos, exposiciones y galerías.** Una persona planea sus vacaciones, a día de hoy solo puede calcular, los tiempos de los desplazamientos por carretera, e incluso los traslados a pie por la ciudad. Tener la posibilidad de calcular los tiempo de recorridos dentro de los edificios, puede ser un dato importante. Tener la posibilidad de plantear recorridos por las principales obras de interés para el usuarios, ya sea en un museo, exposición o galería, puede ayudar al viajero a optimizar mejor el tiempo, aprovechando al máximo sus vacaciones.

**Caso 21: Guía para viajeros, visita de monumentos.** Calculo del tiempo mínimo preciso y del camino más aconsejable para visitar los monumentos. La aplicación puede mostrar planos, puntos de interés, información adicional e historia del lugar, ademas de los retrasos producidos por aglomeraciones. Ofreciendo la posibilidad al usuario de realizar las visitas en el momento día que menos afluencia exista.

#### **Ocio:**

**Lugar:** Cine, teatro, eventos.

**Caso 22: Información de cartelera.** Información de las películas u obras que se ofertan en un cine o teatro. Son de especial importancia las opiniones de los demás espectadores, y la puntuación dada por los mismos. De esta forma se ayuda directamente a los próximos espectadores.

**Caso 23: Críticas.** Después de ver una película, una obra de teatro o cualquier evento, se experimentan sensaciones que gustan compartir. Existe la posibilidad de escribir

opinión de aquello que has visto, ya sean buenas o malas. Las críticas pueden ser de gran ayuda a futuros espectadores a la vez que dan información a los gestores de los edificios, a la hora de invertir en las películas a proyectar, obras de teatro o eventos futuros.

**Caso 24: Entrada virtual.** La compra de entradas por Internet es cada vez más habitual, tanto para el cine, teatro, concierto, o cualquier evento. Al entrar al edificio el dispositivo móvil se conectará a la red, podrán pasar sin esperar colas. Es una forma de mirar por el medio ambiente, no es necesario imprimirlas en papel y son más seguras.

**Caso 25: Acomodador de eventos.** La aplicación guiará al espectador hasta la sala correspondiente y dentro de ella a su asiento en particular, ofreciendo servicios alternativos disponibles durante el evento.

**Caso 26: Orden en la sala.** El cine, teatro o sala de eventos, tendrá un registro de las personas que se encuentra en el interior del recinto marcando su posición. Si por algún motivo hay personas que no están correctamente ubicadas, será detectado. Gracias a este servicio, el sistema ofrece ayudar a la hora de resolver incidentes.

#### **Sanidad:**

**Lugar:** Hospitales, clínicas, centros de salud, residencias de ancianos.

**Caso 27: Control de personal sanitario.** En un hospital, centro de salud o residencia de ancianos, es indispensable tener localizado al personal sanitario de servicio. El objetivo es poder solventar de la manera más eficaz cualquier tipo de emergencia sanitaria, ofreciendo a los pacientes menores tiempos de espera.

**Caso 28: Control de pacientes.** Es primordial que un paciente esté bien atendido, si este necesita cualquier cosa, podrá avisar a un enfermero o encargado de planta, comunicando lo que necesita y incluso saber su paradero. El empleado no tendrá que visitar al enfermo para preguntar y posteriormente volver al punto de partida, para coger el material necesario para su atención. Ahorra tiempo es una de las mejores maneras de ofrecer un servicio de mayor calidad.

**Caso 29: Prioridad de pacientes.** Cuando un paciente se pone en contacto con el personal de planta, comunica la causa de su llamada. Se crea un listado de consultas por atender, ordenadas por gravedad. Convirtiéndolo en un servicio de emergencias más rápido y eficiente de lo habitual.

**Caso 30: Servicio de habitaciones.** En muchos casos existen pacientes que no disponen de acompañante durante su estancia hospitalaria. En estos casos, si necesitan algo del exterior, o el simple hecho de comprar una revista es imposible para ellos. Gracias a esta aplicación se le ofrece un servicio adicional bastante útil en estos casos. Con este sistema, se podría ampliar los servicios que presta un hospital, conectando con la cafetería o la librería del edificio, la cual muestra su carta de comidas, sus productos de papelería o prensa. De este modo un paciente puede comprar lo que necesite, y un empleado localizará la posición exacta de la persona que lo solicita, entregándoselo en un tiempo mínimo. Con este nuevo servicio se fomenta la creación de empleo.

#### **Alojamiento:**

**Lugar:** Hoteles, hostales, apartamentos.

**Caso 31: Control de clientes.** En el momento que un cliente llega a su hotel, se contabilizarán las horas que pasa dentro y fuera de las instalaciones, que instalaciones utilizan más y cual menos. Toda esta información general servirá al hotel para finalmente mejorar los servicios ofertados. Es una forma de hacer estadísticas veraces sin que el cliente tenga la necesidad de rellenar encuestas de satisfacción.

**Caso 32: Sistema de calidad del servicio.** A veces por falta de costumbre, de tiempo o por vergüenza, muchos cliente no reclaman cuando existe alguna anomalía en el servicio que se le ofrece. Por ejemplo: una habitación no esta limpia o una lámpara no funciona. De esta forma el cliente desde su teléfono móvil y en cualquier lugar, puede hacer referencia a su queja. En ese momento el hotel registrara el problema y lo solucionará en el menor tiempo posible.

Cada tipo de queja irá directamente al departamento encargado de la misma, y

una persona encargada tratará de gestionarlo de la mejor manera posible.

Es un sistema de calidad muy eficiente y barato, son los propios clientes los que se encargan de buscar los fallos del sistema, el hotel solo debe solucionarlos.

**Caso 33: Opiniones de clientes.** Una forma de mejorar el servicio que se presta en un hotel, es escuchando la opinión de los clientes. Por lo general no existe un registro de todos esos datos, a no ser que sean quejas. Por ello esta aplicación ayuda a mejorar el hotel y a reforzar aquellos puntos fuertes que hacen a los clientes volver o recomendarlo a un amigo. Estas opiniones deben almacenarse y ser supervisadas por algún gerente, teniendo en cuenta que pueden surgir futuras propuestas de mejora. Los clientes verán las opiniones de los demás usuarios, fomentando la participación.

**Caso 34: Servicio de habitaciones.** Siempre se ha llamado por teléfono a recepción para solicitar el servicio de habitaciones. Una forma de mostrar la amplia gama de productos que puede ofrecer un hotel a sus clientes, es publicando una carta a través de la aplicación móvil, en ella aparecen descripciones, precio, consejos para elegir un vino o un plato, y opiniones de otros clientes que anteriormente lo solicitaron. Es una forma de ampliar los servicios de un hotel, saber el tiempo de espera y paradero de su pedido.

**Caso 35: Comportamiento de los clientes.** Controlar el comportamiento de los clientes y hacer estadística sobre ello, registrando los desperfectos que puedan ocasionar y elementos que han hurtado. Cada mañana una limpiadora entra en las habitaciones de los clientes para limpiarlas y ordenarlas, ella registrará el tiempo que necesita para arreglarla, los elementos que faltan, y si algo está roto. Es una forma de controlar el mal comportamiento de algunos clientes y se hagan responsables de sus actos.

**Caso 36: Seguridad en las habitaciones.** Controlar en todo momento el personal, tipo de actividad que desarrolla y lugar donde se encuentra. Por ejemplo si se produce un robo, en una habitación, controlar quien ha entrado, cuando, movimientos que realizó en la habitación y tiempo dentro de la misma. Y Todo ello sin el uso de cámaras que alteran la privacidad de los usuarios.

**Viajes:**

**Lugar:** Medios de transporte públicos o privados (tren, cruceros).

**Caso 37: Visita guía e información.** Un crucero es una ciudad flotante, por lo general el periodo de vacaciones que se tiene, no es suficiente para conocer a fondo un lugar de ocio tan grande. Una forma de aprovechar el tiempo es saber en todo momento como llegar a lugar deseado y estar informado de todos los servicios que se le ofrece. La aplicación puede ofertar rutas en función de sus gustos, optimizando el tiempo de estancia al máximo.

**Caso 38: Alerta de actividades ofertadas.** Informar a los clientes en todo momento de las actividades que se realizan y donde. Del numero de personas que se han interesado por la actividad o que se encuentran ya realizándolas y de las opiniones de los que ya la han realizado.

**Caso 39: Seguridad de los pasajeros.** El objetivo de un capitán es velar por la seguridad de su tripulación. Existe una vigilancia muy elevada en la cubierta de los cruceros, realizada por el uso de cámaras. El personal de seguridad vigila durante 24 hora que ningún pasajero, tenga posibilidad de caer por la borda en un descuido. Con este sistema se añade un plus de seguridad. Los agentes de seguridad del barco tienen controlados cada uno de los viajeros, e identificados mediante una pulsera con tarjeta incluida. Mediante el sistema RFID, se controla la zonas de peligro del barco. Emitiendo una señal de peligro, que alerta a los agentes, e identifica a las personas que se encuentran en peligro a la misma vez que muestra su posición exacta. Aunque el sistema de cámaras de seguridad sigue siendo útil para la vigilancia en general, el sistema planteado refuerza la seguridad de los pasajeros.

**Aprovechamiento de recursos:**

**Lugar:** Cualquier edificio publico o privado.

**Caso 40: Mayor efectividad laboral que implica desplazamientos.** En cualquier trabajo, la organización es primordial, más aun cuando la realización de

dichas tareas requiere desplazamientos por un edificio. Esta aplicación puede trazar el camino más corto para desarrollar una serie de actividades preestablecidas.

**Mantenimiento:**

**Lugar:** Cualquier edificio publico o privado.

**Caso 41: Contabilizar las personas que hay en un lugar determinado.**

Registrar el número de personas que pasan por un punto en concreto del edificio y cuales son las horas puntas. Se deben controlar las aglomeraciones por seguridad y limpieza. Se dispone de un servicio de limpieza adicional que acude al lugar determinado de inmediato. Muy útil en estaciones de tren, metro y aeropuertos, donde el transito de pasajeros es muy elevado.

**Caso 42: Control de las máquinas y herramientas de trabajo.** Para el perfecto mantenimiento de los edificios, es importante tener localizada cada una de las máquinas y herramientas que se usan en el trabajo.

**Caso 43: Averías.** En un gran edificio pueden darse casos complejos tener averías, ya sea de climatización, electricidad, gas, entre otros. Si alguna instalación presenta problemas, será detectado por el ordenador central y a su vez avisará a la persona de mantenimiento. El personal de mantenimiento será guiado hasta el lugar de la avería, solucionando el problema rápidamente. Si existen varias averías a la misma vez, se establecerá un orden para su reparación en función de la gravedad y cercanía.

**Caso 44: Lavado y mantenimiento de vehículos con servicio de recogida.** Por norma general no se dispone de tiempo libre suficiente para emplear en tareas básicas de mantenimiento de nuestros vehículos. Con el objetivo de resolver este problema, el personal del taller o lavadero de vehículos se encargará de la recogida del mismo. El punto de recogida lo indicará el cliente, pudiendo ser el lugar de trabajo, su vivienda, un hotel, aparcamiento de centro comercial, entre otros. El cliente dejará las llaves y automóvil, indicado la ubicación exacta de ambos.

En todo momento el dueño del vehículo tendrá la posibilidad de consultar mediante la aplicación móvil, la posición de su automóvil, y parte del proceso en el que se encuentra. Una vez que las tareas de mantenimiento se realicen, se dejará en el mismo lugar en el que se recogió. Es en ese momento de la entrega, cuando el dueño recibe la factura, con el importe detallando cada servicio prestado vía App. El cliente conforme con el servicio, procede al pago a través de la aplicación móvil.

**Seguridad:**

**Lugar:** Cualquier edificio publico o privado.

**Caso 45: Seguridad y control de las personas.** Saber el paradero de personas mayores, niños, e hijos, puede resultar de mucho valor para los familiares.

**Caso 46: Seguridad del dispositivo móvil.** Sirve como dispositivo de perdida o robo de un teléfono móvil Smartphone. Mientras el teléfono está encendido podrá localizarlo tanto fuera como dentro de los edificios, obteniendo su posición desde otro teléfono móvil. La aplicación pedirá un usuario y contraseña, para acceder a esa información. Si el teléfono esta apagado también podrá ser localizado gracias al uso de tarjetas RFID.

**Caso 47: Seguridad del edificio.** Esta aplicación sirve para contabilizar el número de personas que entran al edificio, a la mima vez que hace un seguimiento de los mismos. El gestor de cada edificio puede obtener datos sobre edad, profesión, nacionalidad, entre otras. Esta información puede ser valiosa si se crea un registro de personas que previamente han realizado hurtos, han tenido mal comportamiento, o clientes fieles. La localización de estos individuos puede ser útil para que los gestores del edificio puedan adelantarse a los acontecimientos .

**Sociedad:**

**Lugar:** Cualquier edificio publico o privado.



**Caso 45: Gestor de citas.** Dos personas quedan en un punto de encuentro, ambas pueden saber la posición de la otra. La aplicación informa del tiempo de espera en función de la velocidad a la que se mueve y de las condiciones puntuales del edificio.

**Caso 49: Búsqueda en aglomeraciones.** La búsqueda de personas conocidas dentro del entorno cercano, es de gran ayuda cuando has quedado en un lugar donde la aglomeración de personas es tal, que no puedes visualizar a la que buscar.

**Caso 50: Búsqueda de personas con un perfil determinado dentro del entorno cercano.**

Por ejemplo en una biblioteca, un estudiante de química publica su estado. Otra persona que se encuentra en la misma situación puede contactar con el, mostrando su ubicación exacta siempre que el usuario lo permita. Se trata de una herramienta para socializar muy útil en infinidad de situaciones.

Tras esta muestra de 50 aplicaciones del sistema PATHER, se vuelve a destacar su alta aplicabilidad, la cual solo es limitada por la mente humana.

Por lo tanto, la contribución de esta tesis en las nuevas tecnologías de la comunicación e información son incalculables, pasando por aplicaciones móviles, plataformas web, contenidos digitales, y uno de los aspectos más importantes, la optimización de recorridos personalizada, actualizada y en tiempo real.

# 4

## Optimización de recorridos

### Índice

---

<b>4.1. Introducción a la teoría de grafos . . . . .</b>	<b>81</b>
<b>4.2. Modelos de red de navegación y tránsito . . . . .</b>	<b>81</b>
4.2.1. Red . . . . .	82
4.2.2. Demanda . . . . .	83
<b>4.3. Búsqueda del camino óptimo. . . . .</b>	<b>84</b>
4.3.1. Búsqueda del camino óptimo multiobjetivo . . . . .	85
4.3.2. Principales algoritmos para Problemas del camino óptimo. . . . .	86
<b>4.4. Algoritmos de resolución: Dijkstra . . . . .</b>	<b>88</b>
4.4.1. Formulación del algoritmo Dijkstra . . . . .	88
4.4.2. Distancia de Minkowski . . . . .	91
<b>4.5. Optimización: Función objetivo y restricciones . . . . .</b>	<b>95</b>
4.5.1. Optimización multiobjetivo . . . . .	97

---



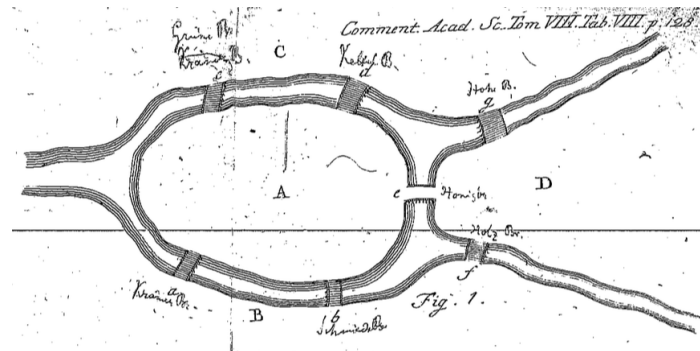


Figura 4.1: Problema de Königsberg. Euler, L. 1736.

## 4.1. Introducción a la teoría de grafos

Desde que en 1736 apareciera la primera publicación referente a la teoría gráfica o de grafos, desarrollada por Leonhard Euler, conocida como *Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis*<sup>1</sup>, se logró demostrar la imposibilidad de solución de un problema relativo a los puentes de Königsberg. El problema de los puentes consistía en encontrar un camino que recorriera los siete puentes del río Pregel a su paso por la ciudad de Könisberg, en Prusia Oriental (actualmente Kaliningrado, Rusia) de manera que solo se pase una vez por cada uno de ellos.

Pero no fue hasta 1920 cuando surgió un interés más intenso y se publicó el primer libro de texto sobre este tema (1936 König). Hoy día no existe ninguna duda de la aplicabilidad de esta teoría, en multitud de campos tan relevantes como en la informática, las ciencias de la computación y telecomunicaciones. Debido a la gran cantidad de aplicaciones en la optimización de recorridos, procesos, flujos, algoritmos de búsquedas, entre otros, se generó toda una nueva teoría que se conoce como análisis de redes.

## 4.2. Modelos de red de navegación y tránsito

Actualmente el objetivo de todo modelo de red de navegación y tránsito es informar y guiar sobre el camino mas rápido, el tráfico, el transporte público disponible y todo ello en tiempo real. La red viene definida a través de un conjunto de aristas que representan

vías o servicios de transporte, y determinan los costes en términos de tiempo de viaje en vehículo (ya sea público o privado) o a pie, y esta información es para todos los usuarios y de acceso gratuito a través de Internet, pudiendo ser gestionada a través de una aplicación móvil.

Siguiendo esta misma filosofía, el sistema PATHER, aplicado en el interior de los edificios inteligentes, se define mediante una red de interior. La red es desarrollada a través de un conjunto de aristas que representan los caminos, y determinan los pesos (en términos de tiempo de viaje a pie o en silla de ruedas). Estos caminos son los que finalmente utilizarán los usuarios, en edificios donde se instale esta tecnología de posicionamiento interior.

#### 4.2.1. Red

Los trazados de todos y cada uno de los recorridos determinan la red, quedando por tanto definida por los elementos que la componen. Cada uno de los recorridos está representado con un grafo  $G = (N, A)$ , donde  $N$  es el conjunto de nodos y  $A$  es el conjunto de aristas que conectan los diferentes pares de nodos. La transformación del modelo real a la idealización de los elementos de la red, nodos y aristas, puede ser efectuada bajo diferentes premisas. Los nodos de la red  $N$  se pueden simbolizar distintas entidades de la realidad:

- Puertas exteriores: Entrada o salida del edificio.
- Puertas interior: Entrada o salida a una estancia diferente.
- Centroides: Nodos especiales, generalmente coincidentes con el baricentro de la zona, que no se corresponden con las intersecciones de pasillos. Son puntos de distribución de la demanda de recorrido (puntos de salidas y llegadas).
- Intersección de pasillos: Cuando se trata de un modelo detallado de red.
- Zonas de espera: Cuando se estudian desde el punto de vista del usuario el conjunto de paradas posibles, por aglomeración de personas.

- Escaleras.
- Ascensores.
- Aparcamientos.

Las aristas pertenecientes al conjunto  $A$ , a su vez, pueden representar diferentes entidades de la realidad, aunque principalmente actúan como sección de un pasillo del edificio, realizando la función de conexión entre dos nodos o una posible conexión entre centroides de zonas adyacentes.

#### 4.2.2. Demanda

El problema del diseño de rutas, sometido a una condición de optimización, es un ejemplo de lo que se conoce como problemas de decisión. En general, son problemas difíciles de resolver, sobre todo en aquellos casos en los que existe un número grande de alternativas entre las que elegir. La dificultad intrínseca del problema, junto con el hecho de que puede no existir una única solución, hace difícil el desarrollo de algoritmos eficientes.

En términos generales, para resolver el problema del diseño y optimización de rutas se emplearán técnicas de búsqueda inteligente que permitan ir refinando progresivamente la calidad de una solución inicial. Así, cuanto mayor sea el tiempo de optimización, mejor será el resultado obtenido. Si el algoritmo se ejecuta durante el tiempo necesario devolverá la solución óptima, pero si en un instante determinado se dispone de una solución que satisface las necesidades previstas, aún a pesar de no ser la óptima, se puede interrumpir el proceso de búsqueda. En definitiva, se puede alcanzar una solución de compromiso entre la calidad de la solución alcanzada y el tiempo necesario para su obtención.

Modelar la demanda de los desplazamientos dentro de un edificio requiere la división en zonas del mismo. Una matriz origen-destino ( $D = d_{ij}$ ) es la encargada de caracterizar la demanda de los desplazamientos en consonancia con la zonificación establecida. Cada una de las entradas  $d_{ij}$  indica la demanda de desplazamientos producidos, desde la zona

inicial  $i$  hasta la zona de destino  $j$ .

### 4.3. Búsqueda del camino óptimo.

Uno de los propósitos de esta sección es definir el problema a resolver en esta investigación, llamado *Problema de Búsqueda de Camino Óptimo* (PCO), o en inglés path-finding problem. Se parte de una red, como la detallada anteriormente, en la que están definidos los distintos nodos y en la que es posible trazar rutas entre ellos a través de las aristas. Dicha ruta tendrá en uno de sus puntos, llamado *origen*, el inicio del recorrido y deberá llegar hasta otro punto, conocido como *destino*, discurriendo por diferentes puntos interconectados.

El problema de camino óptimo más común tiene una única función objetivo a satisfacer, que es minimizar la distancia a recorrer entre los dos puntos. Por tanto ese camino óptimo será el que minimice la suma de los valores asociados a cada uno de los tramos o aristas que forman la ruta recorrida pasando por diferentes puntos intermedios (o nodos), desde el punto origen hacia el punto destino<sup>11</sup>.

Las restricciones también están presentes en este tipo de problemas, por ejemplo, a la hora de buscar un camino mínimo cuyo recorrido esté obligado por determinados puntos o, también, que dicho camino no pueda atravesar ciertos nodos. Estas restricciones marcarán la naturaleza del problema, limitando sus posibles soluciones. Una de las características que diferencian el camino mínimo del camino óptimo es la consideración de maximizar algún otro criterio, en el caso de los caminos óptimos.

La resolución de este tipo de problemas se desarrolla habitualmente en entornos modelados por la teoría de grafos. El grafo contará con un número finito de nodos, pudiendo ser dirigido o no, y en él cada uno de los nodos estará unido como mínimo a otro mediante una arista. El planteamiento del problema sería por tanto que, establecido un grafo a partir de sus dos nodos principales (origen y destino), hay que hallar la serie de nodos, o en su caso aristas, que van desde el origen hasta el destino con el mínimo coste posible, teniendo en cuenta unas restricciones predeterminadas.

Dos de los ejemplos más conocidos de este tipo de problema son los llamados *Problema del viajante de comercio* y *Problema del enrutamiento de vehículos*. El primero de ellos es un problema de camino mínimo llamado en inglés Travelling Salesman Problem (TSP). Se basa en encontrar la ruta más corta posible, que debe seguir un comerciante para visitar un conjunto de ciudades, pasando por todas ellas una sola vez y regresando a la ciudad de origen. La solución es la mínima distancia total recorrida, obtenida a partir de la suma de las distancias que separan a cada una de las ciudades (nodos). El segundo tipo de problema forma parte de los problemas de caminos óptimos, o en inglés Vehicle Routing Problem (VRP), cuya finalidad es minimizar por un lado el coste de la ruta recorrida, y por otro el número de rutas alternativas de unión entre el nodo origen y el resto de los nodos<sup>88</sup>.

Llegados a este punto cabe mencionar un tercer tipo de problema, conocido como *Camino mínimo* (en inglés shortest path). Su objetivo es la búsqueda de la mejor ruta entre dos puntos, a partir de una serie de restricciones existentes en su grafo base. Se aplica de forma generalizada en callejeros y mapas interactivos y además se emplea por empresas de transportes para el cálculo de la ruta mínima.

#### 4.3.1. Búsqueda del camino óptimo multiobjetivo

Cuando se establecen diferentes criterios, los problemas de caminos óptimos tienen que cumplir con cada uno de ellos. De este modo la ruta calculada será considerada como óptima. A estos casos se les denomina multiobjetivo. La resolución para este tipo de problemas implica que cada una de las aristas del grafo formado tiene asociado diferentes valores. En definitiva, según cada uno de los objetivos a optimizar, y cada una de las soluciones de camino mínimo propuesta, tienen asociado un coste.

Por tanto se deduce que no existe una solución única para dar respuesta al problema de camino óptimo multiobjetivo, sino que se tendrán un conjunto de soluciones subóptimas, debido a que algunos objetivos estarán mejor aproximados que otros. Tanto en el problema del viajante de comercio y el problema de enrutamiento de vehículos, se aplican los criterios multiobjetivos con el fin de calcular rutas óptimas y mínimas.



### 4.3.2. Principales algoritmos para Problemas del camino óptimo.

Son muchos los algoritmos existentes en teoría de grafos, utilizados para la resolución de problemas de cálculo de caminos óptimos. A continuación se enumera tres métodos deterministas relevantes:

- **Algoritmo de Floyd-Warshall:** concebido por Bernard Roy en el año 1959. Es un algoritmo diseñado para la búsqueda del camino mínimo sobre grafos dirigidos ponderados. Siendo un ejemplo de programación dinámica, realiza una búsqueda entre todos los pares de vértices en una única ejecución<sup>31</sup>.

Caso de éxito: Además de para calcular un camino de coste mínimo, el algoritmo de Floyd-Warshall también se utiliza para calcular el camino de flujo máximo entre dos vértices de un grafo. En este caso los pesos de las aristas representan las limitaciones del flujo, así una arista con peso elevado representaría un cuello de botella.

- **Algoritmo de Bellman-Ford:** publicado por Richard Bellman en 1958. Este algoritmo calcula el camino mínimo desde un nodo origen al resto de nodos pertenecientes al grafo. El peso de los arcos puede ser negativo en algunos casos e incluso puede existir ciclos con coste negativo<sup>8</sup>.

Caso de éxito: El algoritmo de Bellman-Ford se usa en protocolos de enrutamiento, por ejemplo en el Protocolo RIP utilizado por los routers para intercambiar información acerca de las redes IP. También es muy útil en los problemas de arbitraje bancario (cajas de compensaciones) y en las transacciones internacionales con cambio de sistemas monetarios e índices de interés.

- **Algoritmo de Dijkstra:** algoritmo popularizado en los últimos tiempos por su uso en el GPS. Su fundador Edsger W. Dijkstra (1930-2002), físico teórico considerado uno de los padres de la informática. Publico en “A note on two problems in connexion with graphs” (1959), el algoritmo de Dijkstra para el calculo del camino mínimo desde un nodo origen a todos los demás. A diferencia del algoritmo de Bellman-Ford, es necesario que los pesos asociados a cada uno de los nodos sean positivos<sup>18</sup>.

Caso de éxito: Una de las aplicaciones más conocidas de este algoritmo son los navegadores GPS. Sistemas como el Tom-Tom, Google Maps, ViaMichelin, Navigon, entre otros. Hacen uso de diferentes versiones de Dijkstra para establecer el camino mínimo desde el usuario hasta su destino. Una de las virtudes de este procedimiento es la rapidez en la búsqueda de soluciones, muy útil cuando hay que presentar alternativas ante cualquier cambio en la ruta.

Llegados a este punto cabe mencionar, un algoritmo de resolución más potente llamado **Algoritmo  $A^*$**  o de estrella (en inglés A-Star Search). A diferencia de los algoritmos existentes hasta la fecha, la metodología de este algoritmo se basa en explorar todos los nodos vecinos, considerando no solo el mejor nodo posible (modelos voraces), con la finalidad de obtener la mejor ruta entre un nodo origen y un nodo destino.

Muchas de las investigaciones desarrolladas en los últimos tiempos, relacionadas con los problemas de caminos óptimos, se adaptan al algoritmo  $A^*$  (1968) multiobjetivo. Como por ejemplo en los estudios de Bradley S. Stewart<sup>95</sup>, con una adaptación del algoritmo.

Se tiene en cuenta la complejidad computacional del Algoritmo  $A^*$ , donde no solo interviene el coste real del recorrido, sino también el valor de las técnicas o métodos para resolver este problema de los nodos. Por ello el mayor problema que plantea este tipo de algoritmo es la cantidad de memoria que requiere. De manera que para una heurística de poca calidad, la complejidad aumenta exponencialmente al igual que el espacio requerido para ser ejecutado.

Expuesto lo anterior, se opta por utilizar el Algoritmo de Dijkstra como solución optima al problema planteado en la presente tesis.

## 4.4. Algoritmos de resolución: Dijkstra

El algoritmo de Dijkstra se aplica sobre un grafo ponderado y calcula la distancia desde un vértice inicial al resto de vértices del grafo. El GPS del que ya se ha hablado anteriormente, interpreta el mapa de carreteras como un grafo ponderado donde los pesos asignados pueden ser la distancia o el tiempo. Dijkstra utiliza este algoritmo para calcular el camino más corto entre dos puntos seleccionados<sup>93</sup>.

### 4.4.1. Formulación del algoritmo Dijkstra

Para una total comprensión de la formulación del algoritmo Dijkstra se va a proceder a una explicación paso a paso de la misma:

Suponiendo que dados los nodos  $n_1, n_2, \dots, n_n$  se quiere encontrar el camino más corto entre  $n_1$  y  $n_n$ .

A continuación se presenta, en forma de grafo y de matriz adyacente (ponderación de aristas), un ejemplo sobre el que se irá aplicando los diferentes pasos del algoritmo de Dijkstra:

	1	2	3	4	5	6
1	0	2	1	0	0	0
2	2	0	3	4	0	0
3	1	3	0	2	5	0
4	0	4	2	0	1	3
5	0	0	5	1	0	3
6	0	0	0	3	3	0

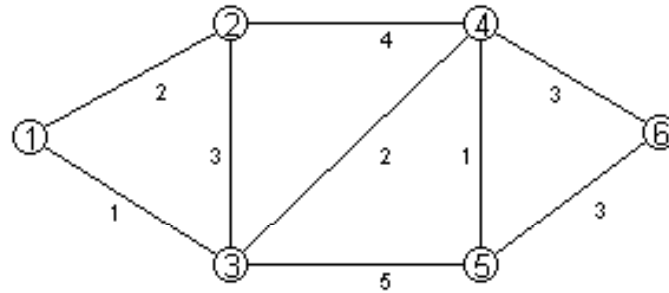


Figura 4.2: Grafo ejemplo de Dijkstra

**Fase 1:** Se construye una tabla donde las entradas superiores son los nodos  $n_1, n_2, \dots, v_n$ .

	$n_1$	$n_2$	$n_3$	$n_4$	$n_5$	$n_6$

**Fase 2:** La entrada izquierda de la primera fila es el valor  $n_1$ , cancelando así la columna bajo el valor  $n_1$ .

	$n_1$	$n_2$	$n_3$	$n_4$	$n_5$	$n_6$
$n_1$	×					
		×				
			×			
				×		

**Fase 3:** Se observa la longitud desde  $n_1$  a cada uno de los demás nodos y se escribe en la primera fila y bajo su columna correspondiente. Si no existiese arista que uniese  $n_1$  y  $n_i$  ponemos el símbolo  $\infty$ .

	$n_1$	$n_2$	$n_3$	$n_4$	$n_5$	$n_6$
$n_1$	$\times$	2	1	$\infty$	$\infty$	$\infty$
	$\times$					
	$\times$					

**Fase 4:** Una vez colocados todos los valores en la fila se busca el menor (se supone el correspondiente a  $n_j$ , y se señala con un círculo este valor, se cancela su columna y se coloca como entrada izquierda de la siguiente fila.

	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$	$v_5$	$v_6$
$n_1$	$\times$	2	1	$\infty$	$\infty$	$\infty$
$n_3$	$\times$		$\times$			
	$\times$		$\times$			

**Fase 5:** Observe la longitud desde  $n_j$  a cada uno de los demás nodos, se suma al valor que ya traía  $n_j$  (el inscrito en un círculo), si la suma es menor que el que ya poseía en la fila anterior, Se escribe dicha suma, y si es mayor se reescribe el que ya había.

**Fase 6:** Se vuelve el paso cinco mientras que el elegido no sea el nodo  $n_n$ .

	$n_1$	$n_2$	$n_3$	$n_4$	$n_5$	$n_6$
$n_1$	$\times$	2	1	$\infty$	$\infty$	$\infty$
$n_3$	$\times$	2	$\times$	3	6	$\infty$
$n_2$	$\times$	$\times$	$\times$	3	6	$\infty$
$n_4$	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	4	6
$n_5$	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	6

**Fase 7:** Una vez finalizada la tabla, para encontrar el camino mínimo, se parte desde

	$n_1$	$n_2$	$n_3$	$n_4$	$n_5$	$n_6$
$n_1$	×	2	1	$\leftarrow \infty$	$\infty$	$\infty$
$n_3$	×	2	×	$\uparrow 3$	6	$\infty$
$n_2$	×	×	×	3	$\leftarrow 6$	$\leftarrow \infty$
$n_4$	×	×	×	×	4	$\uparrow 6$
$n_5$	×	×	×	×	×	6

el último círculo señalado y se sube en la tabla mientras no cambie de valor. En caso de hacerlo se pasa a la posición en esa fila señalada con un círculo, y así sucesivamente hasta llegar a la parte alta de la tabla. Cada cambio de columna indica el cambio de nodo.

Para este ejemplo:

Solución:  $n_6 \rightarrow n_4 \rightarrow n_3 \rightarrow n_1$

También se puede, deducir la longitud mínima total desde el vértice inicial a todos los demás, simplemente se suman todos los valores inscritos en círculos:

Long. mín. desde  $n_1$  al resto de los nodos =  $2 + 1 + 3 + 4 + 6 = 16$ .

#### 4.4.2. Distancia de Minkowski

Hermann Minkowski en el siglo XIX, desarrollo la teoría geométrica de los números, un método geométrico para resolver problemas en teoría de números. También conocida como la distancia de Minkowski o rectilínea, donde la métrica usual de la geometría euclideana es reemplazada por una nueva métrica en la cual la distancia entre dos puntos es la suma de las diferencias absolutas de sus coordenadas. El espacio Minkowski también se conoce como distancia rectilínea, distancia de ciudad, longitud Manhattan. El último nombre alude al diseño de cuadrícula de la mayoría de las calles de la isla de Manhattan, lo que causa que el camino más corto que un vehículo puede recorrer entre dos puntos de una ciudad tengan la misma distancia que dos puntos en geometría distancia Minkowski<sup>57</sup>.

Este método es muy útil en el urbanismo, y gracias al uso del mismo se han desarrollado grandes urbes como por ejemplo el barrio del Ensanche en Barcelona, basado en el proyecto urbanístico del Ingeniero Caminos Canales y Puertos Ildefonso Cerdà (1815-1876)<sup>25</sup>.

Para entender el método se expone el siguiente ejemplo:



Figura 4.3: Ir del punto A al B en El Ensanche de Barcelona.

Partiendo del punto A y como destino final el Punto B. Se traza en la fotografía aérea un rectángulo, donde la línea recta entre los puntos A y B es la hipotenusa, y los catetos son las calles en forma de L.

Se calcula según el teorema de Pitágoras donde  $a^2 = b^2 + c^2$

obteniendo que la hipotenusa mide  $\sqrt{4^2 + 2^2} = \sqrt{20} = 4,47 \text{ unidades}$

Aunque se sabe que la distancia más corta sería recorrer la hipotenusa, es imposible realizar este desplazamiento, puesto que la línea recta trazada no se puede recorrer. De este razonamiento se obtiene como conclusión que la distancia mínima será la suma de los catetos, en este caso 6 unidades.

Si se intenta trazar otras trayectorias alternativas con recorridos mínimos para lograr llegar de A a B de la manera más rápida, obtenemos un total de 15 posibilidades

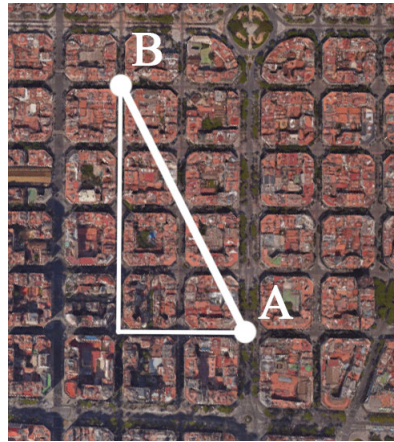


Figura 4.4: Ir del punto A al B en El Ensanche de Barcelona.

diferentes, pero todas ellas con 6 unidades de distancia. Es aquí donde nace un concepto de distancia diferente al usual, llamado taxicab o taxi-distancia bajo una perspectiva de humor, la cual dio origen a la taxi-geometría.

### Caminos posibles

La expresión matemática que permite calcular los caminos posibles limitados a  $n$  movimientos hacia arriba y  $m$  movimientos hacia un mismo lado también denominado permutaciones con repetición

$$PR^{n*m} = \frac{(n+m)!}{n! * m!}$$

donde  $n!$  se lee  $n$  factorial y se calcula como  $n*(n-1)*(n-2)...2*1$ ; por ejemplo  $5!=5*4*3*2*1=120$ .

En el ejemplo que estamos desarrollando en las calles de Barcelona, se obtiene lo siguiente:

$$PR^{4*2} = \frac{(4+2)!}{4! * 2!} = 15$$

Siendo 15 el número de caminos posibles en este caso en particular.



### La distancia de Minkowski versus la distancia euclídea

La distancia que normalmente se conoce y se estudia desde edades tempranas es la distancia euclídea, que deriva del Teorema de Pitágoras. Pitágoras establece que la distancia entre dos puntos A y B de coordenadas

$A = (x_2, x_1)$  y  $B = (y_2, y_1)$  es

$$d(A, B) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

en contrapartida, la distancia mínima que mide el desplazamiento real en ciudad o dentro de los edificios en forma de cuadrícula se define como  $d_M$  donde

$$d_M(A, B) = |X_2 - X_1| + |Y_2 - Y_1|$$

Según se puede observar en la figura siguiente, la ubicación del origen de coordenadas no afecta al cálculo de las distancias.

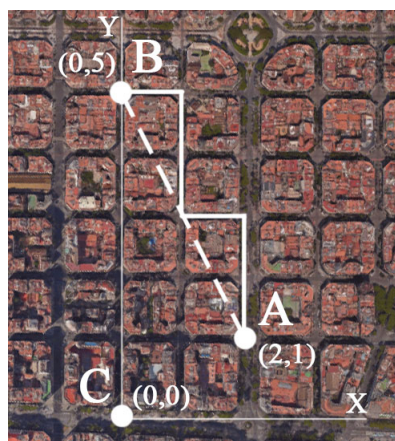


Figura 4.5: Ir del punto A al B en El Ensanche de Barcelona.

Siendo la distancia cualquier relación entre dos puntos en este caso A y B que

verifiquen las condiciones de posibilidad, simetría y desigualdad triangular. O lo que es lo mismo:

- $\delta(A, B) \geq 0$  y el hecho  $\delta(A, B) = 0$  equivale a que  $A = B$
- $\delta(A, B) = \delta(B, A)$
- $\delta(A, B) \leq \delta(A, C) + \delta(C, B)$

La distancia Minkowski  $d_M$  y la distancia euclídea  $d(A, B)$  son dos ejemplos de distancias con los que se verifican las tres condiciones anteriores y en general,  $d(A, B) \leq d_M(A, B)$ .

En 1907 Hermann Minkowski se dio cuenta de que la teoría especial de la relatividad podía entenderse mejor a través de una geometría no euclídea en un espacio cuatridimensional. Espacio conocido desde entonces como el espacio de Minkowski, en el que el tiempo y el espacio son entidades ligadas a un espacio de cuatro dimensiones, el espacio-tiempo. Siendo esta la base que ayudo a Einstein en sus trabajo que culminaron el desarrollo de la relatividad general. Finalmente la distancia de Minkowski tiene infinidad de aplicaciones y entre ellas destacan las aplicaciones en urbanismo, anteriormente mencionadas.

Por ello, se entiende que dicha distancia de Minkowski es igualmente válida en el interior de los edificios. Debido a que por norma general, cada edificio se divide en estancias (cuadrículas).

## 4.5. Optimización: Función objetivo y restricciones

Desde el punto de vista científico, la optimización se define como la selección de la mejor solución posible a un problema dado. En un problema de optimización existe una búsqueda previa de distintas soluciones, un criterio para diferenciarlas, y un objetivo final que es encontrar la mejor. El planteamiento teórico consiste en la búsqueda de

cómo estructurar un conjunto de variables de estudio para lograr ciertos objetivos. Los problemas se clasifican de forma natural en dos categorías: en los primeros las soluciones están codificadas mediante variables que tienen valores reales y ,en los segundos, las variables poseen valores discretos. Respecto a estos últimos se pueden encontrar una clase de problemas llamados *Problemas de Optimización Combinatoria*, los cuales serán desarrollados en los siguientes apartados.

La resolución matemática de la mayoría de los problemas de optimización es la minimización (o maximización) de alguna función objetivo de valores escalares, con respecto a un vector de parámetros ajustables. El algoritmo de optimización es un procedimiento recursivo para cambiar los parámetros ajustables desde una suposición inicial (o conjunto de suposiciones) hacia un valor final que ofrece una mejora en la función objetivo.

Un problema de optimización viene definido por tres elementos fundamentales: las *variables del problema*, utilizadas para construir el conjunto de decisiones, la *función objetivo* que evalúa el coste o beneficio de cada decisión y el *conjunto de soluciones* que determina la validez de las decisiones tomadas. Más formalmente, dentro de un conjunto factible de soluciones  $C$ , esto puede ser expresado como:

$$\min/\max f(x)$$

$$\text{sujeto a } x \in C$$

La formulación descrita es demasiado genérica para que su estudio conduzca a métodos satisfactorios de resolución, ya que  $C$  representa un conjunto cualquiera y por tanto esta descripción también recoge la situación donde  $C$  es un espacio de dimensión infinita, como puede ser en el caso de un espacio de funciones.

El modelo de optimización requiere la representación de los intereses de los usuarios. En el caso de los usuarios del Sistema PATHER, el objetivo de cada uno de ellos es realizar un recorrido desde una zona origen a una zona destino de la forma más rápida, cómoda, segura posible. El tiempo de viaje, principal objetivo a optimizar, tiene tanto una componente de tiempo de espera en zonas de aglomeración de personas como otra

de viaje a pie. Una solución óptima lograría que cada uno de los usuarios se desplazara por su camino más corto dentro de una red  $G$ , es decir, que para todo par  $(i, j)$  de nodos con demanda  $d_{ij}$  existente, hay un recorrido que incluye al camino más corto entre  $i$  y  $j$  en la red  $G$ . La existencia de estos actores o usuarios con diferentes objetivos, para cada uno de los casos, conlleva que en el propio modelado del problema del diseño óptimo de recorridos se encuentren diferentes funciones objetivos para cada uno de los respectivos usuarios.

#### 4.5.1. Optimización multiobjetivo

En el mundo real existe una variedad de problemas cuyas soluciones tienen diferentes componentes que entran en conflicto, por lo que a veces la mejora de una de ellas implica el deterioro en alguna de las otras. En este tipo de problemas es difícil lograr la mejor solución, ya que es posible que la optimización de unos objetivos influya negativamente en otros y, por ello a menudo la última decisión queda en manos del criterio de su diseñador. Para concretar qué es un Problema MultiObjetivo, *Multi-Objective Problem*, se utiliza la definición propuesta por Osyczka<sup>79</sup>:

*"Es la búsqueda de un vector de variables de decisión que satisface un conjunto de restricciones y optimiza un vector función, cuyos elementos representan las funciones objetivo. Estas funciones forman una descripción matemática de los criterios de rendimiento de un sistema determinado, que normalmente están en conflicto entre si. Así, el término optimizar significa encontrar una solución que dé a cada función objetivo un valor aceptable para el diseñador"*

En un problema de optimización de objetivo único, la finalidad es encontrar una solución óptima de la función objetivo  $f(x)$ . Exceptuando los casos donde la función objetivo es multimodal en el dominio de soluciones factibles, existe una única solución al problema. Por otro lado un problema de optimización multiobjetivo está formado por varias funciones objetivo que moderan diferentes intereses en conflicto. Se puede expresar de la siguiente manera:

$$\min/\max F(x) = (f_1(x), f_2(x), f_3(x), \dots, f_n(x))$$

sujeto a  $x \in C$

donde el conjunto que define las soluciones factibles viene dado por  $C$ , siendo  $f_i$ , con  $i \in [1..N]$ , cada una de las distintas funciones objetivo a minimizar o maximizar según el criterio elegido<sup>17</sup>.

La optimización multiobjetivo tiene como finalidad hallar una solución que satisfaga todos los objetivos de manera simultánea. Existen casos donde dichos objetivos pueden entrar en conflicto, por ejemplo cuando el resultado que maximiza un objetivos provoca el perjuicio de otros, y en estos casos solo será posible hallar "buenas" soluciones con diferentes grados de compromiso. El conjunto de estas "soluciones de compromiso" debe ser tal que no puede existir una solución que mejore a otra en un objetivo sin empeorar a alguno de los restantes. Por tanto aquellas soluciones que sean peores que otras en alguno de los objetivos, aunque sean capaces de mejorar en otros, no son buenas soluciones de compromiso.

En la práctica, a la hora de realizar una optimización multiobjetivo suele ser necesario tomar decisiones que impliquen seleccionar una única solución con un cierto nivel de compromiso. Tal y como se distingue en los estudios realizados por Deb y Kalyanmoy<sup>17</sup>, en la selección de dicha solución se distinguen diferentes metodologías:

- **Preferencias de optimización multiobjetivo.** Consta de un procedimiento basado en las preferencias de optimización, donde se determina la importancia relativa de los diferentes objetivos, a partir de un vector de pesos  $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_N)$ . Una vez establecidos los pesos, se resuelve el problema de optimización objetivo único, cuya función es  $\lambda_1 f_1, \dots, \lambda_N f_N$
- **Procedimiento ideal de optimización multiobjetivo.** Consta de dos fases. En la primera se localizan todas las soluciones factibles con diferentes niveles de compromiso, tales que no existe ninguna que comparada con otra empeore en todos los objetivos simultáneamente. En la segunda fase, se elige una solución con un determinado nivel de compromiso.

En ambas metodologías existe un papel principal de uno de los actores que debe aportar la información adicional. Y esto ocurre tanto para la estimación de los valores del vector de pesos, como para la toma de decisiones respecto a la elección entre soluciones con diferentes niveles de compromiso. Deb y Kalyanmoy<sup>17</sup> concluyen que el procedimiento ideal es el más apropiado para la resolución de modelos de optimización multiobjetivo, por las razones siguientes:

- En la primera metodología descrita, el procedimiento basado en preferencias, el resultado está muy condicionado por el vector de pesos utilizado para formar la función objetivo compuesto. Un simple cambio en dicho vector, puede tener como resultado una solución de compromiso diferente.
- La labor de encontrar a priori un vector de pesos capaz de reflejar las preferencias de los distintos objetivos es altamente subjetiva y no inmediata.
- En el procedimiento ideal, segundo de los métodos descrito, se produce la elección de una solución a partir del conjunto de soluciones de compromiso hallado, de la que se dispone de información previa del problema. Mientras, en el procedimiento basado en preferencias, un vector de pesos debe ser provisto a priori, sin conocimiento alguno de los posibles resultados.

## Definiciones

Un modelo de optimización multiobjetivo está formado por  $N$  funciones objetivo que se pretenden optimizar de forma simultánea. De modo general, se utiliza el operador de comparación genérico  $\triangleleft$  entre los valores que corresponden a una misma función objetivo  $f_i$ , que sería  $<$  para los casos de minimización, o  $>$  en casos de maximización. Se dice que una solución  $x_1 \in C$  domina a otra solución  $x_2 \in C$  ( $x_1 \preceq x_2$  por notación) si se cumplen las condiciones siguientes:

1.  $x_1$  no es peor que  $x_2$  en todos los objetivos, es decir  $f_j(x_1) \triangleright f_j(x_2)$  para todo  $j \in [1, \dots, N]$ .

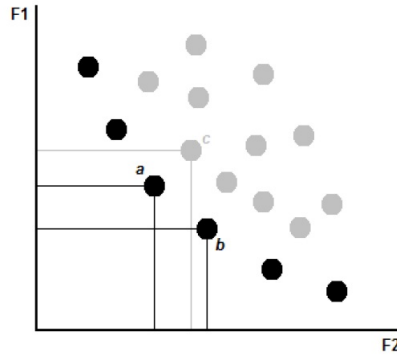


Figura 4.6: Esquema de frente de Pareto

2.  $x_1$  es exactamente mejor que  $x_2$  en al menos un objetivo, es decir  $\exists j \in [1, \dots, N]$  tal que  $f_j(x_1) < f_j(x_2)$ .

El cumplimiento de estas dos condiciones determina que  $x_2$  está dominada por  $x_1$ , y  $x_1$  no está dominada por  $x_2$ . La relación de dominancia es asimétrica, es decir, si  $p$  domina a  $q$ , entonces  $q$  no domina a  $p$ , y transitiva, es decir, si  $p$  domina a  $q$  y  $q$  domina a  $r$ , entonces  $p$  domina a  $r$ , respectivamente.

Dado un conjunto de soluciones  $P \subset C$ , se define el subconjunto no dominado  $P'$  de  $P$  al formado por aquellas soluciones pertenecientes a  $P$  que no son dominadas por ninguna otra solución de  $P$ . Cuando  $P = C$ , siendo  $C$  el total del espacio de soluciones factibles, el subconjunto  $P'$  de soluciones no dominadas de  $C$ , es decir, tales que no existen otras que mejoren los objetivos simultáneamente, se denomina *óptimo de Pareto* o *frente de Pareto*. La resolución de un modelo de optimización multiobjetivo implica hallar el conjunto óptimo de Pareto. En el trabajo de Amora<sup>33</sup> se facilita un ejemplo de la representación gráfica de varias funciones objetivos de vectores que representan el llamado *frente de Pareto*.

El ejemplo de frente de Pareto expuesto en el esquema está compuesto por un problema con dos funciones objetivos, F1 y F2. En la gráfica vienen representado dos tipos de puntos, unos de color negro que representan las soluciones del frente de Pareto de las dos funciones objetivos del problema, y unos puntos grises que simbolizan las soluciones dominadas del problema. Como se puede ver en el ejemplo, las soluciones del

frente de Pareto no son dominadas, y son los casos  $a$  y  $b$  (puntos en negro). Por otro lado, se encuentra el punto  $c$ , en gris, que pertenece a una de las soluciones dominadas. Comúnmente, a la hora de solucionar estos problemas, se tiene como objetivo localizar tantas soluciones del frente de Pareto como sea posible, dado que todas y cada una de ellas serán válidas y “óptimas”.

La toma de decisiones multicriterio según Kaliszewski<sup>52</sup>, se define como la búsqueda del problema de seleccionar una solución de compromiso entre cada uno de los diferentes objetivos en conflicto en base a los criterios del responsable de la toma de decisiones. Una definición de la propiedad de eficiencia de una solución, para un problema de optimización multiobjetivo, se encuentra en Ehrgott<sup>22</sup>, dónde se hace referencia a comparaciones con espacio  $C$  de soluciones factibles, o en el espacio  $\mathbb{R}_M$  de las funciones objetivos.

### Optimización combinatoria multiobjetivo

En el marco de optimización combinatoria, aquellos problemas cuyas soluciones estén representadas mediante variables discretas se denominarán *Problemas de optimización combinatoria*. La finalidad de este tipo de problemas es la búsqueda de un objeto dentro de un conjunto finito o infinitamente contable, donde dicho objeto puede ser un número entero, un subconjunto de ellos, una permutación o una estructura de grafo<sup>81</sup>.

Los problemas de optimización combinatoria están presentes en diversos campos de la ciencia, especialmente en el campo de la teoría de la computación, debido a que muchos de estos problemas pertenece a la clase de los  $NP$ . Las técnicas existentes para este tipo de problemas se pueden clasificar, básicamente, en dos: algoritmos exactos y algoritmos aproximados. El objetivos de los algoritmos del primer grupo (exactos) es la búsqueda de una solución óptima, demostrando que dicha solución es de hecho la óptima global<sup>9,81</sup>. Algunos ejemplo de este tipo de algoritmos son: back-tracking (proceso de vuelta atrás), brach and bound (ramificación y acotación), programación dinámica, etc.

La evolución de los algoritmos aproximados se debe al bajo rendimiento para



la resolución de muchos de los problemas por parte de los algoritmos exactos. Los algoritmos aproximados proporcionan resultados de alta calidad con unos tiempo de ejecución relativamente razonables. Estos tipos de algoritmos se pueden dividir en dos, constructivos y de búsqueda local. Los primeros están basados en generar soluciones desde cero, incorporando componentes a cada solución paso a paso. Este tipo de algoritmos se conocen como voraces y algunos ejemplos son los algoritmos de Kruskal<sup>58</sup>, de Prim<sup>85</sup> y de Dijkstra<sup>9</sup>. Tienen una elevada velocidad de ejecución pero no son capaces de garantizar soluciones óptimas con respecto a cambios a nivel local.

Para dar estas garantías existen los segundos algoritmos, denominados de búsqueda local. Estos algoritmos intentan mejorar la solución actual con soluciones cercanas, a dicha solución, en base a algún criterio. Se destaca en este sentido los algoritmos de mejora iterativa, basados en que: si en la cercanía de la solución actual  $s$  se encuentra una mejor solución  $s'$ , la solución actual es reemplazada por la nueva solución y el proceso de búsqueda continúa a partir de  $s'$ ; pero si en el proceso de búsqueda no se encuentra una solución mejor, el algoritmo tiene como resultado un óptimo local. Las soluciones de óptimos locales pueden no ser de calidad cuando los resultados están muy alejados del óptimo global y por ello las investigaciones actuales se centran en la mejora adicional en la calidad de la construcción de soluciones.

Según Ehrgott<sup>21</sup>, el problema de optimización combinatoria multiobjetivo está restringido al caso de función objetivo y restricciones lineales. Para este tipo de problemas, es conocido un resultado que establece la existencia de soluciones pertenecientes al frente óptimo de Pareto, que no se obtienen mediante la resolución del siguiente problema de optimización de objetivo único:

$$\begin{aligned} \min/\max \quad & \lambda_1 f_1(x) + \dots + \lambda_N f_N(x) \\ \text{sujeto a} \quad & x \in C \end{aligned}$$

para ningún vector de pesos positivos  $\lambda$ .

Tales soluciones se denominan *soluciones eficientes no soportadas*, y constituyen el conjunto  $X_{N_oE}$ . Las soluciones tales que es posible hallarlas mediante una combinación

particular de pesos  $\lambda$  se denominan *soluciones eficientes soportadas*, y constituyen el conjunto  $X_{SE}$ . La existencia de ambas soluciones se extiende para problemas con funciones objetivos y/o restricciones no lineales. Desde una perspectiva teórica, la localización de las diferentes soluciones eficientes, para los problemas de optimización combinatoria multiobjetivo, se considera el mayor reto. Para un gran número de estos problemas, encontrar el conjunto  $X_E$ , requiere un procedimiento de tipo *NP*, siendo cierto incluso en los procesos donde coexiste un método eficiente para los problemas relacionados de objetivo único<sup>21</sup>.

### Métodos aproximados para optimización combinatoria multiobjetivo

Los métodos o algoritmos aproximados para la optimización combinatoria multiobjetivo alcanzan sus resultados mediante un conjunto de soluciones no dominadas, que no necesariamente forman el *frente de Pareto aproximado*. Estos métodos, al igual que en los casos de objetivo único, son conocidos como heurísticos<sup>22</sup>.

La resolución exacta de un caso multiobjetivo encuentra todas las soluciones eficientes, que pueden ser no soportadas (siendo una solución heurística en un sentido estricto), o es capaz de hallar algunas soluciones eficientes no soportadas. La resolución aproximada de problemas de optimización combinatoria multiobjetivo, empleando la heurística, puede darse de dos formas:

1. Un primer método se basa en el empleo similar al de la optimización de objetivo único, es decir, resolviendo los problemas mediante diferentes transformaciones del problema original. Existen diferentes métodos (suma ponderada, método de Benson, etc.) que son utilizados en aplicaciones reales de optimización multiobjetivo, y resuelven el problema de forma exacta. Estos métodos poseen algunas desventajas en cuanto a sus aplicaciones, ya que solamente son capaces de satisfacer una solución no dominada como resolución del problema, no siendo capaces de hallar todas las soluciones del frente de Pareto óptimo. Requieren un conocimiento previo del problema, como por ejemplo la determinación de los valores de los pesos o restricciones.

2. La otra manera de utilizar la heurística para la resolución de problemas de optimización combinatoria multiobjetivo consiste en tratar los diferentes objetivos de forma simultánea. Esta aplicación específica de la heurística para optimización multiobjetivo se centran actualmente en las metaheurísticas. A partir de los estudios presentados por Glover y Fred<sup>36</sup>, se introdujo el término *metaheurística*, derivado de la composición de las palabras griegas *meta*, que significa "más allá de, en un nivel superior", y *heurística*, que significa "encontrar, descubrir". La metaheurística contiene diferentes estrategias de alto nivel para analizar espacios de exploración usando diferentes métodos, y engloba conceptos de muchos y diversos campos como la biología, las matemáticas, la física, la inteligencia artificial, etc. Una clasificación de los ejemplos de metaheurística podría ser<sup>22</sup>:

- Algoritmos evolutivos<sup>7,46</sup>.
- Recorrido simulado<sup>62</sup>.
- Búsqueda tabú<sup>43</sup>.
- Optimización de colonia de hormigas<sup>22,27</sup>.
- Otros (Redes neuronales artificiales, GRASP y Búsqueda dispersa).

### Métricas de performance

En un problema de optimización multiobjetivo, al contrario de lo que ocurre en un problema de objetivo único (donde un método aproximado busca hallar una solución lo más cercana posible a la óptima), el resultado está formado por un conjunto de soluciones óptimas no dominadas, que constituyen un frente de Pareto aproximado. Dicho frente de Pareto, debe cumplir dos características<sup>17</sup>:

1. *Cercanía* respecto al frente óptimo. En todos los métodos de resolución de modelos de optimización esto es un objetivo primordial. En el caso de un problema multiobjetivo, consiste en la resolución de varias soluciones no dominadas que deben de estar lo más cerca posible del frente de Pareto óptimo.

2. *Diversidad*. Los procesos de resolución del modelo multiobjetivo no cuentan con información que permita valorar las distintas funciones objetivo, por lo que se necesita la mayor cantidad posible de soluciones no dominadas, repartidas en un amplio rango a lo largo del frente de Pareto.

Jaszkiewicz<sup>46</sup>, en su trabajo desarrollado durante el año 2001, realiza una clasificación de la calidad de los frentes de Pareto, desde el punto de vista *cardinal*, donde cuenta la cantidad de soluciones que cumplen los requisitos. El estudio *geométrico*, analiza y estudia las posiciones y distancias de las diferentes soluciones en el espacio de las funciones objetivos. Por otra parte Ehrgott<sup>22</sup> establece que no existe dentro de la literatura de optimización multiobjetivo unas métricas aceptadas, presentando además, unas directrices sobre las nociones de cotas y radios para este tipo de optimización. Finalmente, Deb<sup>17</sup> realiza una clasificación de las métricas caracterizándolas por la cercanía, diversidad, o ambas propiedades simultáneamente, sobre un frente de Pareto aproximado  $P$ .



# 5

## Tratamiento de datos

### Índice

---

<b>5.1. Introducción . . . . .</b>	<b>109</b>
<b>5.2. Introducción a la EII . . . . .</b>	<b>109</b>
5.2.1. Descripción del edificio . . . . .	110
<b>5.3. Infraestructura de red interior . . . . .</b>	<b>114</b>

---





Figura 5.1: Fachada principal de la Escuela de Ingenierías Industriales (UMA).

## 5.1. Introducción

En este capítulo se va a presentar la metodología seguida para el tratamiento y realización de la base de datos relacionada con el edificio, usos de las diferentes estancias y movilidad dentro de la Escuela de Ingenierías Industriales (EII) de la Universidad de Málaga.

Este procedimiento se inicia con la recapitulación de la información pertinente sobre la distribución dentro de la EII, prestando especial atención a las diferentes características de cada estancia. A partir de ahí se examina la posible movilidad de los usuarios. Conociendo sus limitaciones físicas, que afectan a la hora de efectuar o planificar los desplazamientos diarios realizados dentro de dicho edificio. También se describe la metodología empleada en la elaboración de la red interior de la escuela, que será la base de aplicación de la futura optimización de rutas interiores para el sistema PATHER.

## 5.2. Introducción a la EII

La EII de Málaga se emplaza en la ampliación del Campus de Teatinos y sobre una parcela prevista para tal fin en el Sector de Actuación PE-T.2 del Plan General de



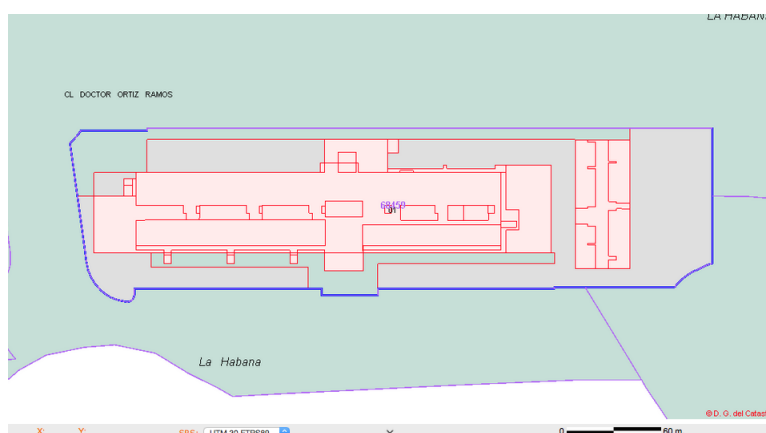


Figura 5.2: Cartografía Catastral de la EII de Málaga?

Ordenación Urbana de Málaga, cuya referencia catastral es 6845901UF6664N0001KU. En el Anexo II, se encuentra la Consulta Descriptiva y Gráfica de Datos Catastrales de Bien Inmueble.

Se trata de un edificio altamente tecnológico que abrió sus puertas en el año 2009. Diseñado por D. Salvador Moreno de Alborán Peralta (1947)<sup>86</sup>, arquitecto malagueño, de indudable prestigio.

Según los datos publicados por la Universidad de Málaga (UMA), el número de matriculados en los últimos años ronda los casi 40.000 personas<sup>35 100</sup>. De ellos aproximadamente el 10 % forman parte de la EII, situándose como uno de los edificios con más demanda de la UMA.

### 5.2.1. Descripción del edificio

El predominio de la longitud de la parcela sobre su anchura lleva a concebir el edificio estructurado alrededor de un eje central. Dicho eje se asemeja a una calle peatonal cubierta. A lado y lado de la calle central se distribuye el espacio que permite llevar a cabo un programa de usos complejo.

Con el objetivo de exhibir el edificio a modo de escaparate tecnológico, se le da a la

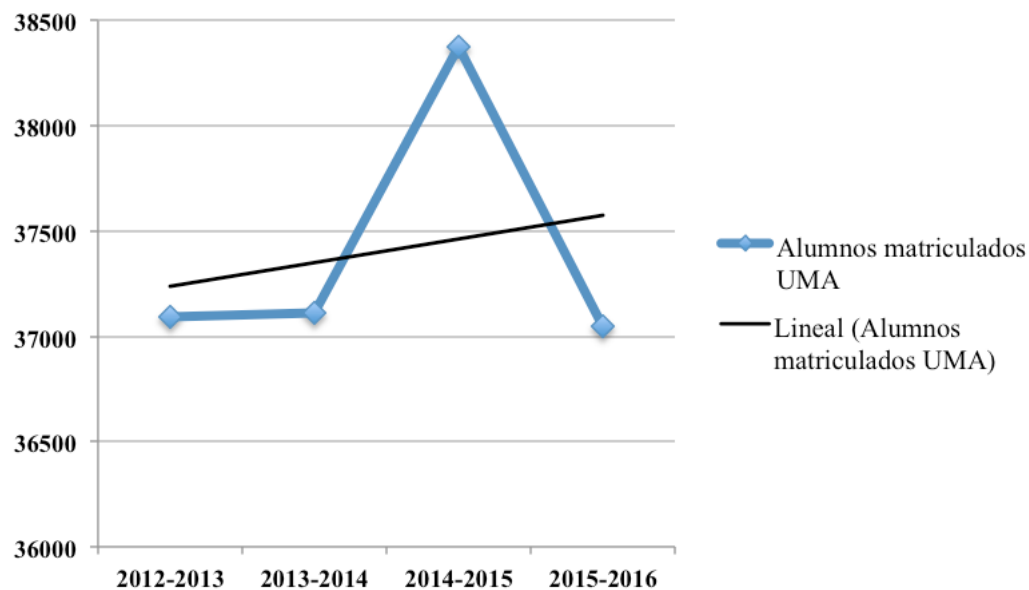


Figura 5.3: Evolución alumnos matriculados UMA

cubierta especial protagonismo. Se trata de una larga bóveda, diseñada con el objetivo de lograr un importante ahorro energético. Dicha bóveda crea en la calle interior un microclima estable, con pocas variaciones térmicas, siendo innecesaria la climatización de los espacios más abiertos y disminuyendo los saltos térmicos. Para ello la membrana tiene que cumplir una múltiple función: proporcionar una graduación de luz y sombra sobre la fachada Sur, servir de alojamiento para una gran batería de paneles solares con células fotovoltaicas, y garantizar la iluminación a la vez que mantiene una temperatura adecuada de la calle central.

La calle peatonal queda interrumpida por una plaza central que divide en dos grandes alas el complejo:

- Ala Este: destinado a los laboratorios docentes y talleres.
- Ala Oeste: donde se ubican las aulas, departamentos y laboratorios de investigación.

Con una distribución vertical según un grado de utilización decreciente, de manera que las plantas inferiores albergan las estancias de mayor uso y afluencia. Por lo tanto las aulas de mayor capacidad se sitúan en las planta baja y primera.

La plaza central se convierte en un punto de complejidad y riqueza espacial. Y sobre su eje se enfrentan, el salón de actos y la cafetería. Ambas estancias con dos posibilidades de acceso, por el exterior o por el interior, dando una mayor versatilidad de uso.

En las plantas primera y segunda sobre la cafetería se alojan dos niveles de biblioteca, dispuestos en forma de pirámide. Sobre el salón de actos en doble espacio, se disponen dos salones de grado.

En la banda Sur de las plantas superiores (segunda y tercera) se encuentran los departamentos. En la ala norte de la planta segunda, con una concepción espacial que alude a una atmósfera docente y restringida, se dispone el núcleo de los laboratorios de investigación, con pasillo interior propio.

El ala Este de los laboratorios se divide en:

- Banda Sur: de tres plantas de laboratorios docentes de tamaños distintos según las necesidades respectivas, algunas intercomunicadas mediante escaleras que se proyectan al exterior.
- Banda Norte en encuentran los talleres de doble altura, preparados para alojar puentes-grúa y con posibilidad de acceso rodado exterior.

Por ultimo, cabe mencionar la rigurosa malla estructural de 8 x 8 m. Gracias a esta, es posible un aprovechamiento superficial del sótano para aparcamientos.

El edificio se divide en multitud de estancias:

- Aulas
- Aulas informáticas
- Aulas específicas
- Talleres

- Biblioteca
- Salones de grados
- Salón de actos
- Dirección
- Administración
- Cafetería
- Servicios generales
- Departamentos
- Laboratorios de investigación

Con una superficie por planta de:

Planta	Superficie ( $m^2$ )
Planta Cubierta	0
Planta Tercera	4.239,81
Planta Segunda	10.026,82
Planta Primera	12.070,10
Planta Baja	14.39,89
Planta Sótano	15.236,75
Total Construida	55.973,37

Tabla 5.1: Superficie construida EII (UMA)<sup>101</sup>.

Y una superficie útil de 29.622m<sup>2</sup>.

**Datos para la EII.** Los planos del edificio que han servido de base al presente trabajo son los facilitados por el *Registro General de la Universidad de Málaga* situado en el Pabellón de Gobierno (Sede El Ejido, Málaga).

En el caso de EII, con una extensión (interior) cercana a los  $56.000 \text{ m}^2$ , se ha considerado que los resultados de movilidad pueden tener un valor más significativo y real si se establece una distribución del edificio en 6 zonas, coincidiendo cada en alguna de ellas con una planta completa del edificio y dividida en dos zonas la planta tercera debido a su configuración espacial. En base a ello se ha realizado la siguiente tabla:

Planta	Zonas
Planta Cubierta	-
Planta Tercera	E / F
Planta Segunda	D
Planta Primera	C
Planta Baja	B
Planta Sótano	A
Número de zonas totales	6

Tabla 5.2: Zonas en las que se divide EII (UMA)<sup>101</sup>.

Por tanto, se construye una base de datos única, con la interpretación de los planos reales y calculados para cada estancia su centroide. Ésta base de datos tendrá gran importancia en la aplicación del algoritmo, tal y como se verá en los capítulos siguientes de este estudio.

Como resultado, se dispone de una red de caminos, que tienen como base las dispuesta por los planos reales, y que están adaptados a una distribución de nodos y aristas para facilitar su lectura. Toda las bases de datos, con las usadas para la elaboración de esta tesis doctoral, hacen alusión a la zonificación resultante de 6 zonas elaboradas en la presente investigación.

### 5.3. Infraestructura de red interior

La elaboración del modelo de red interior es una de las piezas principales de este estudio.

La modelización se llevó a cabo con el uso de ArcMap, que es la aplicación principal de ArcGIS software utilizado para la representación de cartografía, la edición, el análisis y la administración de datos. Aunque dicho programa está diseñado para trabajar con mapas, en este caso se han utilizado planos de distribución de la EII de Málaga. Gracias a los algoritmos y funciones incorporados en este software el modelo planteado puede ser analizado desde diferentes puntos de vista.

Los elementos principales que conforman la red interior elaborada, al igual que en los grafos, son los nodos y las aristas. Se describe, a continuación, el proceso de realización de la base de datos de la infraestructura de red de la EII.

Partiendo de los planos base facilitados, se introdujeron los diferentes **nodos** con el software ArcMap. Cada uno de los nodos forman parte de los cruces existentes entre las diferentes pasillos, puertas, y centroides de estancias que conforman el entramado de la red interior del edificio. Como criterio primero, a la hora de establecer los nodos, se usó la simplicidad en las intersecciones, facilitando la lectura del número de nodos y el cálculo de las matrices formadas. La dificultad existente en algunas de las intersecciones del edificio condiciona el volumen de los nodos que la forman. El número total de nodos que constituyen la red interior de la EII de Málaga es de xxxxx.

El siguiente punto en la elaboración de la red son las **aristas**. A pesar la gran extensión de la EII, cercana a los  $56.000\text{ m}^2$ , se realizó una modelación de cada uno de las aristas completa con el 100 % del total de las estancias que conforman el edificio y con un total de xxxx aristas que conforman la base de datos de la red interior. El gran número de aristas modelados proporciona un nivel de detalle preciso y factible para la obtención de un buen resultado a la hora de optimizar las rutas. El diseño óptimo de las rutas interiores se realiza a partir de la información facilitada por las aristas. Las características que poseen cada una de ellas, se han introducido gracias al potencial de ArcMap, y se enumeran en:

1. Nodo origen y destino: cada arista describe la conexión de nodos existente.

2. Longitud: gracias al uso los planos se dispone de la longitud de cada uno de los tramos en los que se divide la red diseñada.
3. Aparcamientos: la existencia de aparcamientos condiciona la planificación y diseño de las diferentes rutas. Se dispone de datos relacionados con los aparcamientos existentes en el edificio, situados en la planta sótano del mismo.
4. Modo de transporte: para el caso particular de este estudio, se han incorporado 2 modos de transporte: P (a pie) y S (silla de ruedas). Cada uno de estos modos tiene sus propias características que condicionan la red interior del edificio. Un breve resumen de los modos de transportes sería:
  - A pie: en el modelo de red diseñado, la modelización de los usuarios a pie está permitida en la gran parte de las aristas. Exceptuando algunas zonas que no disponen de aceras, como por ejemplo algunas partes del sótano donde existen circulación de vehículos a motor.
  - Silla de ruedas: al igual que el modo a pie, el trazado de la ruta en silla de ruedas pueden realizarse en la mayoría de las aristas que conforman la red diseñada. Pero con la excepción del uso de escaleras no adaptadas, pasillos estrechos, pendientes pronunciadas del suelo entre otras.

Las siguientes características planteadas afectan a los desplazamientos en silla de ruedas, por ello a de tenerse en cuenta diversos factores:

5. Anchura de pasillos: una información muy valiosa para este estudio es el poder disponer de una descripción del ancho de cada uno de los pasillos que conforman el edificio. Esta información condicionará la posibilidad de ser usado por personas minusválidas o en su detrimento buscar otra alternativa viable para su ejecución.
6. Pendiente de rampas: condicionante ante la posibilidad de ser usado por minusválidas o en su detrimento buscar otra alternativa viable para su ejecución.

7. Dimensión de los ascensores: al igual que la característica anterior se trata de una información de alto interés con el objetivo de lograr el planteamiento de rutas accesibles.
8. Anchura de aparcamientos: los datos relacionados con la anchura de los aparcamientos facilitan información sobre la tipología de aparcamiento existente y la posibilidad de ser usado por personas con movilidad reducida o minusválidos.
9. Aglomeración de personas: por último cabe mencionar la información en tiempo real que el sistema PATHER es capaz de facilitar al servidor central, la cual aporta un valor añadido al calculo de rutas interiores. Los datos relacionados con las aglomeraciones de personas en diferentes puntos del edificio, facilita a los usuarios de la red la posibilidad de evitar ciertos nodos, utilizando para el trazado de la ruta en tiempo real otra alternativa. De este modo el sistema PATHER ahorra tiempo a sus usuarios.

Con todos los datos descritos hasta el momento, y con el uso del software ArcGis-ArcMap, se completado el modelo de red interior para la EII de Málaga.





# 6

## Modelo de optimización propuesto

### Índice

---

<b>6.1. Introducción . . . . .</b>	<b>119</b>
<b>6.2. Formulación . . . . .</b>	<b>119</b>
<b>6.3. Modelo de optimización . . . . .</b>	<b>124</b>
6.3.1. Fuentes de dificultad del problema . . . . .	126
6.3.2. Modelo propuesto de optimización . . . . .	126

---



## 6.1. Introducción

En el presente capítulo se describe la metodología empleada en la realización del modelo de optimización propuesto, en aras del diseño y planificación de las rutas para el sistema PATHER. La formulación esta basada en modelos que proponen minimizar un objetivo principal, condicionados por sus respectivas restricciones y sus coeficientes de ponderación. Se establece cada una de las restricciones como elementos que afectan, directa o indirectamente, al diseño óptimo de la ruta interior.

## 6.2. Formulación

El modelo propuesto se formula como:

$$\min Z = \sum_{o,d \in [1, \dots, M]} d_{o,d} \quad (6.1)$$

según el tipo de desplazamiento (vertical y horizontal)

$$de_{i,j} = 0 \quad (6.2)$$

$$de_{i,j} = + - 1 \quad (6.3)$$

$$de_{i,j} \geq + - 2 \quad (6.4)$$

y la seguridad para cada tipo de usuario del sistema PATHER

$$St_{i,j} \geq Su \quad \forall r_k \in T \quad (6.5)$$

sujeto a

$$ap_{i,j} \geq AP_{i,j}^{min} \quad \in [1, \dots, N] \quad (6.6)$$

$$ce_{i,j} = ae_{i,j} + ne_{i,j} + am_{i,j} + ch_{i,j} \quad \forall r_k \in T \quad (6.7)$$

$$cr_{i,j} = ar_{i,j} + lr_{i,j} + mr_{i,j} + pr_{i,j} \quad \forall r_k \in T \quad (6.8)$$

$$ta_{i,j} \geq TA_{i,j}^{min} \quad \in [1, \dots, N] \quad (6.9)$$

$$da_{i,j} \geq DA_{i,j}^{min} \quad \in [1, \dots, N] \quad (6.10)$$

$$as_{i,j} \geq AS_{i,j}^{min} \quad \in [1, \dots, N] \quad (6.11)$$

$$Pe_{i,j} \geq PE_{i,j}^{min} \quad \in [1, \dots, N] \quad (6.12)$$

$$Pi_{i,j} \geq PI_{i,j}^{min} \quad \in [1, \dots, N] \quad (6.13)$$

$$Rt_{i,j} = Ra_{i,j} + Ru_{i,j} \quad \forall r_k \in T \quad (6.14)$$

$$Re = Pc \delta_z \quad (6.15)$$

$$R \subseteq \Omega$$

donde:

- $Z$ : es la función objetivo a calcular. En el caso propuesto, se refiere a la mínima distancia de recorrido  $d_{o,d}$  para cada ruta.
- $o, d$ : determina el origen y destino de los centroides. Cada una de las zonas que componen el edificio están representadas por un centroide que simboliza la unión de los recorridos de la red planteada.
- $M$ : número total de rutas posibles. La suma de todas las conexiones posibles entre los centroides (nodos) de la zonificación planteada.
- $N$ : se corresponde con el total de nodos que forman la red interior.
- $de_{i,j}$ : describe el número de plantas que atraviesa la ruta definida, teniendo en cuenta el *tipo de desplazamiento* (vertical u horizontal), pero sin importar el sentido (subida o bajada). De tal manera que se minimicen los tiempos de desplazamiento.
- $St_{i,j}$ : es la *seguridad total* que posee cada una de las aristas, dependiendo del diseño del edificio y las características físicas del usuario del sistema.

- $Su$ : es la seguridad del usuario y está definida por los diferentes perfiles de usuarios  $Pu$  de la red interior. Condicionando la mínima seguridad que debe superar una arista para su uso.
- $ap_{i,j}$ : es la anchura existente en *pasillos y pasos* para cada una de las aristas que componen la red interior. Se establece un mínimo de anchura en los pasillos y pasos ( $AP_{i,j}^{min}$ ) que satisfaga la posibilidad de utilizar dicho espacio interior como accesible para minusválidos.
- $ce_{i,j}$ : Contempla todas y cada una de las características que debe tener una *escalera* para que facilite su utilización por personas con movilidad reducida.
- $ae_{i,j}$ : es la anchura de *escaleras*. Se fija un mínimo de anchura en las escaleras ( $AE_{i,j}^{min}$ ) existentes.
- $ne_{i,j}$ : es el *número de escalones*. Se fija un número mínimo ( $NE_{i,j}^{min}$ ) y máximo ( $NE_{i,j}^{max}$ ) de peldaños consecutivos en un tramo de escalera.
- $am_{i,j}$ : es el *ancho de meseta de escalera*. Se fija un mínimo de anchura en las mesetas de escaleras ( $AM_{i,j}^{min}$ ) existentes.
- $ch_{i,j}$ : es la *relación contrahuella-huella* que deben cumplir los peldaños existentes:  $(54cm \leq 2C + H \leq 70cm)$  para que la escalera a la que pertenecen sea accesible.
- $cr_{i,j}$ : Contempla todas y cada una de las características que debe cumplir una *rampa* para que sea accesible.
- $ar_{i,j}$ : es la *anchura de rampa*. Se fija un mínimo de anchura en rampas ( $AR_{i,j}^{min}$ ) existentes.
- $lr_{i,j}$ : es la *longitud en rampas*. Se establece un mínimo de longitud ( $LR_{i,j}^{min}$ ).
- $mr_{i,j}$ : es el *ancho de meseta de rampa*. Se fija un mínimo de anchura en las mesetas de rampas ( $MR_{i,j}^{min}$ ) existentes.
- $pr_{i,j}$ : es la *pendiente de rampa*. Se establece un máximo de pendiente en rampas ( $PR_{i,j}^{max}$ ) existentes.

- $ta_{i,j}$ : describe el tamaño de los *ascensores* instalados en el edificio. Se decretan unas dimensiones mínimas de ancho y largo del habitáculo ( $TA_{i,j}^{min}$ ), con el objetivo de cumplir con las condiciones de accesibilidad distinguiendo entre los abordables por personas en silla de ruedas o no.
- $da_{i,j}$ : describe la dimensión del *aparcamiento* de los que dispone el edificio (en este caso en planta sótano). Se establece unas dimensiones mínimas para los aparcamientos ( $DA_{i,j}^{min}$ ) de manera que satisfaga el uso accesible a personas en silla de ruedas o movilidad reducida.
- $as_{i,j}$ : describe la *circunferencia mínima libre* ( $AS_{i,j}^{min}$ ) de obstáculos y barridos de puertas en el interior los aseos adaptados.
- $Pe_{i,j}$ : es el ancho de *paso de las puertas de entrada/salida* del edificio. Se establece unas dimensiones mínimas para los aseos de minusválidos ( $PE_{i,j}^{min}$ ).
- $Pi_{i,j}$ : es el ancho de *puertas de interiores* del edificio. Se establece unas dimensiones mínimas ( $PI_{i,j}^{min}$ ) en las puertas interiores del edificio, prestando especial atención a las puertas de aseo de minusválidos.
- $Rt_{i,j}$ : es la *restricción total* que posee cada una de las aristas. Dependiendo del uso propio del recinto y de las posibles restricciones de acceso en función del tipo de usuario.
- $Ra_{i,j}$ : la suma de la restricción que representa una arista dada la *aplicación del recinto*. La aplicación o uso del recinto es determinado por la proporción dada para cada una de las zona de la red de posicionamiento interior.
- $Ru_{i,j}$ : la suma de la restricción asignado para cada *tipología de usuario* del sistema.
- $Re$ : es el *retraso debido a la aglomeración de personas* y está definido por los diferentes puntos calientes  $Pc$  de las zonas a atravesar. Dichos puntos calientes se configuran a partir de la lectura que hace el sistema PATHER, al detectar multitud de conexiones de los dispositivos móviles a la red implantada en diferentes puntos del recinto.

- $\delta_z$ : representa la importancia dada a los datos, agregados por las conexiones a la red, con respecto a las estadísticas analizadas por el sistema PATHER (sistema inteligente).
- $T$ : el total de aristas que forman la red interior modelada.
- $\Omega$ : el conjunto de aristas que forman el entramado interior existente.

A continuación se describen los tres componentes principales del modelo formulado:

**Función objetivo.** Basado en el cálculo de distancias mínimas entre los nodos principales de las estancias, denominados centroides. Para la obtención de cada centroide  $(X_c, Y_c)$ , se definen cada uno de los vértices  $(X_n, Y_n)$  que definen el perímetro que ocupa la estancias. De la unión consecutiva de cada uno de estos vértices marcados, se obtiene el perímetro de la misma y posteriormente se calcula su centro de gravedad.

La función objetivo (6.1) representa la distancia mínima para la que debe estar diseñada la red de posicionamiento interior. Se busca, por tanto, minimizar los tiempos de desplazamientos de los diferentes usuarios. Posteriormente, la distancia mínima estará condicionada por las diferentes variables que afectan a la accesibilidad, directamente a partir de las características propias del edificio e indirectamente a través de los perfiles de usuarios planteados.

**Criterios.** Los criterios 6.2, 6.3 y 6.4 establecen la primera toma de decisión. Se refiere al número de plantas que atraviesa el sujeto a la hora realizar el recorrido. Se diferencia un criterio de seguridad total 6.5, dando a cada una de las aristas dependiendo del diseño del edificio y las características físicas del usuario del sistema.

**Restricciones.** Las restricciones 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10 y 6.11 establecen la dimensiones mínima o máximas permitida que debe tener cada uno de los elementos arquitectónicos (pasillos, escaleras, ascensores, rampas, aparcamientos y aseos) con el



fin de cumplir con las especificaciones referentes a accesibilidad. Las restricciones 6.12 y 6.13 basada en las características propias del diseño del edificio, establece las anchuras mínima de puertas de paso de entrada o salida del edificio y puertas interiores de cada una de las estancias respectivamente. La restricción 6.14 es producida por aglomeración de personas, basado en la información recopilada por la propia red  $Pc$  en tiempo real. Y por último la restricción total 6.16 de cada una de las aristas, basada en el uso propio del recinto y de las posibles restricciones de acceso en función del tipo de usuario.

### 6.3. Modelo de optimización

La resolución de un modelo para un único objetivo implica hallar la solución de dicho objetivo. Para el caso de los modelos de optimización multiobjetivos, es necesario desarrollar el cálculo de todas las soluciones no dominadas, pertenecientes al frente de Pareto óptimo, tal y como se ha desarrollado en el capítulo sobre *Optimización de recorridos*. La finalidad de este tipo de modelos es la obtención de una única solución, la "deseable". Por tanto, dicha solución final estará, generalmente, condicionada por la información complementaria y cualitativa, basada en algunos casos en la experiencia, donde se distinguen dos formas del proceso de decisión<sup>17</sup>.

Se parte de un proceso denominado ideal de optimización multiobjetivo. En la primera fase se pretende obtener como resultado un frente Pareto, constituido por las soluciones no dominadas. Todos los objetivos tienen un valor de importancia idéntico que afecta a la solución del método. En su segunda fase, se dispone de la información proporcionada por los técnicos responsables de las tomas de decisiones, relacionada con las preferencias de elección. Se realiza, por tanto, la elección del resultado factible que corresponderá con una de las soluciones halladas en el frente de Pareto.

Otra metodología para la resolución del modelo está basada en las preferencias de la optimización multiobjetivo. El fundamento de este procedimiento se centra

en el conocimiento previo del peso o importancia de cada uno de los objetivos del estudio. Gracias a ello se produce la transformación del problema inicial de optimización multiobjetivo en otro de objetivo único. La función objetivo del problema inicial pasa a estar ponderada por sus pesos, pertenecientes a cada una de las variables que afectan a la función objetivo. Se constituye, de este modo, una función objetivo nueva.

En el trabajo presentado por Deb y Kalyanmoy<sup>17</sup> se definen los diferentes aspectos a tener en cuenta a la hora de elegir un procedimiento para la resolución del método de optimización. Se destacan las siguientes:

- *Sensibilidad al vector de pesos.* Existe una notable diferencia entre los dos modelos respecto a la influencia del vector de pesos. A la hora de formar la función objetivo compuesta, en los procedimientos basados en preferencias se puede observar una mayor influencia del vector de pesos aplicado.
- *Dificultad de hallar el vector de pesos.* El cometido de encontrar un vector de pesos, capaz de reflejar la representatividad de los diferentes objetivos. En este apartado, adquiere gran importancia el tipo de usuario, dónde se ven reflejadas las restricciones o autorizaciones de las que disponen en la EII.

En resumen, la disponibilidad de un vector de pesos que refleje las prioridades entre los diferentes objetivos determinará el uso del procedimiento ideal, a partir de la información facilitada por el problema. En este sentido, el procedimiento ideal, al no estar expuesto a un vector de pesos, se puede considerar como un método más práctico y con una menor influencia de subjetividad.

En lo relacionado con *Transit Network Design Problem* (TNDP), existe una mayoría de modelos de optimización que emplean como método de resolución los procedimientos basados en preferencias<sup>7</sup>. La importancia de los diversos coeficientes o vectores de peso se refleja en la magnitud correspondiente a los diferentes objetivos. La dificultad se centra a la hora de determinar el conjunto de coeficientes que sean solución para el problema de objetivo único compuesto y, que a su vez, no sea una solución dominada del problema multiobjetivo original.

### 6.3.1. Fuentes de dificultad del problema

A partir de los trabajos realizados por Chakroborty<sup>10</sup> y Baaj<sup>7</sup>, se describen algunas de las dificultades que presentan los problemas de optimización debido a las características propias, reflejado en su complicada representación matemática y su resolución exacta.

La definición de las variables de decisión en la formulación condicionan el modelo de resolución. En la mayoría de las formulaciones revisadas, las funciones objetivos están descritas en base a los recorridos de los diferentes usuarios  $r_k$ , al igual que las restricciones. Este tipo de problemas pueden ser de naturaleza combinatoria. El disponer de un trazado formado por los posibles recorridos ( $r_k$ ) actúa como una de las variables de decisión. La suma de posibles soluciones, a la hora de aplicar una formulación de programación matemática a dicho problema, implica unos tiempos de ejecución inaccesibles para casos de magnitudes reales. Por este motivo, es preferible el empleo de variables mixtas.

Para finalizar, debido a la importancia de los valores de las funciones objetivos, se incorpora al modelo de optimización el criterio de los técnicos responsables de la toma de decisiones. En el caso que se presenta en dicha investigación, el vector de pesos está definido por el perfil del usuario y la accesibilidad del propio edificio.

### 6.3.2. Modelo propuesto de optimización

En esta sección se presenta la estructura principal del modelo de optimización desarrollado en la elaboración de esta tesis doctoral. Tal y como se ha señalado en secciones anteriores, el problema de diseño óptimo de recorridos ha sido estudiado comúnmente en la literatura. Existen diferentes variantes dependiendo de las aplicaciones y objetivos a los que se pretenda dar solución. El objetivo

principal, marcado por el algoritmo de resolución, se centra en la búsqueda de la distancia mínima a recorrer para el diseño e implantación del Sistema de posicionamiento interior PATHER. Este diseño debe cumplir los requisitos de comodidad, accesibilidad, seguridad del usuario, restricciones de seguridad del edificio y todo ello con el objetivo de añadir un valor al edificio. Logrando un alto número de posibles usuarios de este tipo de sistema de posicionamiento interior.

A grandes rasgos, la resolución del algoritmo tiene como objetivo único el cálculo del recorrido mínimo entre cada par origen y destino de la matriz OD ( $D = d_{od}$ ). Dicho recorrido está condicionado por diversas restricciones agrupadas en diferentes secciones: *infraestructura*, *control de aglomeraciones* y *perfiles de usuarios*.

### Infraestructura

Esta sección se corresponde con la caracterización de la red interior del edificio. Dicha red, constituida por el grafo no dirigido  $G = (N, A)$ , tal y como se desarrollo en el apartado de *Infraestructura de red interior* (capítulo de *Tratamiento de datos*). La totalidad de las aristas que caracterizan la red interior elaborada conforman el entramado de la EII. Dichas aristas poseen una información de partida explicada en los apartados anteriores. Un pequeño recordatorio de todas las características que guardan cada uno de los arcos de la red interior diseñada sería:

- Nodo de origen y de destino.
- Número de plantas a atravesar.
- Anchura de pasillos y pasos.
- Anchura de escaleras.
- Número de escalones por tramo de escalera.
- Ancho de meseta de escalera.
- Relación contrahuella-huella.
- Anchura de rampas.

- Longitud de rampa.
- Ancho de meseta de rampa.
- Pendiente de rampa.
- Tamaño de ascensores.
- Dimensión de aparcamiento.
- Dimensiones de aseos.
- Anchura de puertas exteriores e interiores.
- Aglomeraciones de personas.
- Planta.
- Zona.

Con el objetivo de mostrar la utilidad del sistema, se aplica el modelo a un caso práctico real.

Para un diseño óptimo dedicado a las redes interiores de edificios y su relación con la movilidad, es necesaria la programación matemática. Con un diseño adecuado es posible realizar un acercamiento integral a la hora de resolver los posibles problemas de movilidad y circulación que puedan surgir durante el uso de los mismos. En el caso particular de la presente investigación, este problema se evita a partir de las consideraciones de las características del usuario a la hora de seleccionar la ruta interior adecuada a sus necesidades.

El considerar a los usuarios del sistema PATHER consumidores de este tipo de tecnología de posicionamiento interior conlleva el reflexionar sobre los requisitos que se deben cumplir para ofrecer una infraestructura de calidad. Tal y como se ha visto con anterioridad, algunos de esos requisitos se centran en asegurar un espacio suficiente o una accesibilidad óptima. Por ello se recomienda un diseño que minimice resistencias del resto de usuarios y sea capaz de considerar las diferentes percepciones de los consumidores de dicha información, asegurando una infraestructura completa y comprensiva.

**1. Características del espacio físico.** En este apartado se ha estructurado la programación matemática en tres agrupaciones diferenciadas:

- La primera agrupación está basada en las características del espacio (plantas). En ella se produce el análisis y comprobación de las diferentes dimensiones que conforman la base de datos de la red interior.
- La segunda agrupación, tienen en consideración las características propias de la tipología de estancia, el uso de la misma.
- La tercera estudia los puntos calientes del edificio.

A partir de la revisión y consulta del estado del arte, se han tomado algunas medidas como punto de partida para la planificación y diseño de las infraestructura de posicionamiento interior. Dichas consideraciones, podrán ser modificadas dependiendo de cada uno de los casos aplicados.

Desplazamiento vertical (Nº de plantas)	Tipo de desplazamiento
0	Horizontal
$=\pm 1$	Horizontal-Vertical(escaleras)
$\geq 2$	Horizontal-Vertical(ascensor)

Tabla 6.1: Criterios: Tipo de desplazamiento según el número de plantas a atravesar. Elaboración propia.

## Seguridad

Dentro de las preferencias que se describen en la obtención de una red interior óptima disponible para diferentes tipos de usuarios, existen cinco requisitos principales a cumplir con el objetivo de lograr una ruta inmejorable: ser directa, atractiva, coherente, cómoda, *segura, accesible* y *actualizada*. Es, en estos tres últimos puntos, donde se desarrolla gran parte de la innovación científica de esta tesis doctoral.

Como ya se ha mencionado anteriormente, el factor de seguridad es uno de los más importantes para el desarrollo de rutas interiores. La planificación matemática está diseñada diferenciando dos partes representativas que influyen en la seguridad.

Seguridad de usuario:

- Las características propias de la ruta, según el diseño del edificio y las estancias que atraviesa.
- Las características físicas del usuario.

Seguridad del edificio:

- Cada una de las aristas que compone las rutas representan zonas concretas del edificio. Por norma general existen áreas de uso común dentro de los mismos, en contraposición existen otras zonas restringidas.
- El tipo de usuario lleva asignado una serie de permisos y restricciones, según la tipología de usuario este tendrá acceso a más o menos recintos del edificio.

A modo de ejemplo, sobre la EII, las rutas para el personal de mantenimiento en referencia a áreas de instalaciones, no será mostrada a los alumnos o docentes de la escuela. Se entiende que la información de la que dispone el sistema PATHER debe ser selectiva con sus usuarios tanto por seguridad como por utilidad.

Tipo de usuario	Grado de seguridad	Áreas Permitidas
Visitante	1	Zonas Comunes-Aulas-Departamentos-Laboratorios.
Alumno-Docente	1	Zonas Comunes-Aulas-Departamentos-Laboratorios.
Administrativo	2	Zonas Comunes-Secretaria-Conserjería.
Dirección	2	Zonas Comunes-Dirección.
Restauración	2	Zonas Comunes-Cocina-Almacenes alimentación.
Mantenimiento	3	Todas las áreas.
Seguridad	3	Todas las áreas.

Tabla 6.2: Grado de seguridad según tipo de usuario. Elaboración propia.

- La tecnología de posicionamiento empleada, y el gran interés en el uso de la inteligencia artificial para su optimización.

- Características propias de las estancias a atravesar.
- Las características propias de la ruta.

### Accesibilidad

Con el objetivo de lograr una ruta mínima óptima, se tiene en cuenta el factor accesibilidad, por lo tanto la planificación matemática está diseñada diferenciando multitud de aspectos representativos que influyen directamente en la accesibilidad las rutas trazadas.

Se ha tratado de configurar rutas interactivas que permitan una rápida adaptación según el tipo de usuario, estableciendo puntos restrictivos concretos, dando a los técnicos la capacidad de implantar dicho sistema en cualquier edificio. Por ello la accesibilidad del usuario, esta sujeta a medidas mínimas y máximas de los diferentes elementos constructivos.

**Normativa de accesibilidad:** Para establecer las dimensiones mínimas de cada una de las restricciones planteadas, se ha analizado la normativa técnica vigente de la edificación en España. Utilizando para ello el Código Técnico de la edificación<sup>24</sup> (CTE)<sup>12</sup>, atendiendo con especial cuidado las recomendaciones del Documento Básico de Seguridad de Utilización y Accesibilidad, articulado en Febrero 2010 y con comentarios de 23 de Diciembre 2016<sup>64</sup>. También se ha analizado las premisas planteadas en el Documento Técnico sobre el Decreto Andaluz de Accesibilidad<sup>15</sup>, desarrollado por la Junta de Andalucía, y por último se han tenido en cuenta la Ordenanza reguladora de accesibilidad del municipio de Málaga<sup>16</sup>.

Naturalmente, dentro de los edificios pueden existir casos dónde no se disponga de las medidas mínimas necesarias de los elementos constructivos. En estos casos sobre esos puntos concretos del edificio, el resultado de la posible implantación de la rutas para minusválidos sería nula. Evitando con ello una posible situación de riesgo para el usuario. Dado el caso concreto, si no existe una alternativa accesible, el usuario obtendrá un mensaje de alerta en su dispositivo móvil, indicando una



situación de peligro. Quedando bajo la responsabilidad del propio usuario realizar dicha desplazamiento o evitarlo.

A partir de la revisión y consulta de la normativa, se han tomado algunas medidas como punto de partida para la planificación y diseño de las red interior para el sistema PATHER. Dichas consideraciones, podrán ser modificadas dependiendo de la normativa existente para cada uno de los casos aplicados. El cambio de configuración permite una rápida adaptación por parte de los técnicos o planificadores correspondientes. Las medidas mínimas accesibles para la implantación de las "rutas interiores accesibles" (RIA) en el edificio corresponde a:

Tipología	Característica mínimas
Anchura pasillo	1,5 metros
Anchura escalera	1,1 metros
Nº escalones por tramo	$(3 \leq ne \leq 16)$
Anchura meseta escalera	1 metro
Relación contrahuella-huella	$(54cm \leq 2C + H \leq 70cm)$
Anchura rampa	1,2 metros
Longitud rampa	9 metros máx
Anchura meseta rampa	1,5 metros
Pendiente rampa	10 %
Tamaño de ascensor (A x L)	1,1 x 1,4 metros
Tamaño de ascensor (A x L)	1,1 x 1,4 metros
Dimensiones aparcamiento minusválidos (A x L)	$\geq 3,6 \times 5 \text{ metros}$
Aseos, espacio libre	$\emptyset 1,5 \text{ metros}$
Anchura puertas interiores	0,8 metros
Anchura puertas exteriores	0,8m 1 hoja/ 0,9m 2 hojas

Tabla 6.3: Características mínimas para la creación de RIA. Elaboración propia.

Las características analizadas en este bloque consisten en:

- **Pasillos o pasos:** se analiza la disposición de pasillos y pasos, siendo su anchura mínima tal y como aparece señalado en la tabla 6.3 (*Anchura pasillo*) de 1,5 metros para RIA. Según la normativa de referencia, se ha realizado una planificación matemática de espacios mínimos para pasillos, que cumpla

con las pautas de itinerario accesible.

- El ancho mínimo libre practicable de los pasillos accesibles será de 1,20 metros permitiéndose estrechamientos puntuales de longitud inferior a 50 centímetros debidas a soluciones estructurales que sobresalgan de los paramentos. Estos estrechamientos deben dejar un paso mínimo de 1 metro. Además frente a puertas de entrada de los edificios, escaleras y ascensores accesibles la dimensión libre de pasillo será de 1.5m.

Para un correcto diseño de las RIA, se muestran los diferentes intervalos de anchura de pasillos ( $ap$ ):

Grado de Accesibilidad	Anchura de pasillo o paso ( $ap$ ) en metros
No permitido	$ap < 1$
Mínimo permitido	$ap = 1$
Accesible	$ap = 1,2$
Ideal	$1,2 \leq ap \leq 1,5$
Óptimo	$ap \geq 2$

Tabla 6.4: Restricción: Anchura de pasillo o paso ( $ap$ ). Elaboración propia.

- **Características de escaleras:** Con el objetivo de permitir su uso a personas con movilidad reducida, se establecen una serie de características exigibles:

$$ce_{i,j} = ae_{i,j} + ne_{i,j} + am_{i,j} + ch_{i,j} \quad \forall r_k \in T$$

- Para un correcto diseño de las RI, se muestran los diferentes intervalos de anchura de escaleras ( $ae$ ):
- A continuación se muestran los diferentes intervalos de anchura de meseta de escaleras ( $am$ ):

La anchura de meseta permitirá, el paso simultáneo de dos personas, una de ellas con bastón o muletas. Siendo la anchura mínima de meseta de 1,20 m para el caso de edificios públicos.

Grado de Accesibilidad	Anchura de escalera ( $ae$ ) en metros
No permitido	$ae < 1$
Mínimo permitido uso restringido	$ae = 1$
Accesible	$ae = 1,1$
Ideal	$1,1 \leq ae \leq 1,5$
Óptimo	$ae > 2$

Tabla 6.5: Restricción: Anchura escalera.

Grado de Accesibilidad	Anchura de meseta de escalera ( $am$ ) en metros
No permitido	$am < 1$
Mínimo permitido uso restringido	$am = 1,2$
Accesible	$1,2 \leq am \leq 1,5$
Óptimo	$am > 2$

Tabla 6.6: Restricción: Anchura meseta escalera ( $am$ ). Elaboración propia.

- Es importante en accesibilidad el tamaño de las cabinas de los ascensores( $ta$ ), para que cumplan con las condiciones de accesibilidad distinguiendo entre los abordables por personas en silla de ruedas o no, la puerta o puertas de la cabina deben ser 0,8 metros de anchura de paso.

Se muestran los diferentes intervalos de anchura y longitud de la cabina de ascensor accesible ( $ta$ ):

Grado de Accesibilidad	Tamaño de ascensor (A x L) ( $ta$ ) en metros
No permitido	$ta < 1 \times 1,25$
Mínimo permitido (no para EII)	$ta = 1 \times 1,25$
Accesible	$1,1 \times 1,4$
Óptimo	$at > 1,1 \times 1,4$

Tabla 6.7: Restricción: Tamaño de cabina de ascensor ( $ta$ ). Elaboración propia.

Los ascensores instalados en la EII tienen una dimensión (A x L) de 1,3 x 1,4 metros, cumpliendo en todo caso con la normativa de accesibilidad vigente.

### Actualización de datos en tiempo real

Gracias a la tecnología del sistema PATHER, son detectables las zonas donde hay aglomeraciones de personas, a partir de ahora dichas zonas, serán nombradas como puntos calientes ( $pc$ ). Calcular rutas en función del estado del edificio en un momento determinado es uno de los puntos fuertes de esta tesis.

En la siguiente tabla se muestran los diferentes intervalos aglomeración de personas establecidos para la realización del caso práctico:

Grado de aglomeración	Cantidad de personas
Nula	-
Leve	$20 \leq pc < 50$
Moderada	$50 \leq pc < 100$
Elevada	$100 \leq pc < 150$
Muy elevada	$pc \leq 150$

Tabla 6.8: Restricción: Grados de aglomeración de personas ( $pc$ ). Elaboración propia.

### Optimización de la accesibilidad

La posibilidad de implantar el sistema IPS PATHER en edificios ha sido uno de los principales objetivos planteados en la presente investigación. El procedimiento explicado durante el desarrollo de este capítulo, resume una nueva forma de tener en cuenta el entramado de estancias que forman un edificio desde el punto de vista de la red interior de posicionamiento, y desde la relación entre un edificio y cada uno de los diferentes usuarios del mismo.

Con el fin de obtener la mejor ruta interior posible se ha estructurado la configuración del algoritmo para proporcionar la solución más segura dependiendo de las variables seleccionadas que tomarán partido en la caracterización de cada una de las aristas,  $a_{i,j}$ , de la red interior.

Para la aceptación de validez de cada una de las aristas como "aptas" a tener en cuenta para la posible red interior, se ha establecido a partir de la seguridad del usuario  $Su$ . Dicho coeficiente marcará la accesibilidad mínima que debe disponer cada  $a_{i,j}$  que conforma la red para que sea declarado como idóneo a la hora de poder establecer dicha ruta como accesible.

Cada una de las variables limitan el aumento o la disminución de la accesibilidad de cada una de las aristas revisadas  $a_{i,j}$ . Se procede a buscar la mejor ruta en función del tipo de edificio y de usuario.

**Aplicación del algoritmo de Dijkstra** El empleo del Algoritmo de Dijkstra<sup>18</sup> se ha llevado a la práctica con el objetivo de calcular rutas específicas para una red interior, con conocimiento del origen y el destino de la ruta en cuestión.

Para un nodo 1 de origen y un nodo 2 final.

En el cuestión particular del caso de estudio del EII se ha presentado una serie de casos donde el algoritmo se basa en calcular la ruta mínima entre cada par de nodos previamente establecidos, pero con diferentes variables a tratar.

# 7

## Aplicación del caso práctico

### Índice

---

<b>7.1. Introducción . . . . .</b>	<b>139</b>
<b>7.2. Descripción del caso de estudio . . . . .</b>	<b>139</b>
<b>7.3. Aplicación del modelo de optimización . . . . .</b>	<b>139</b>
7.3.1. Aplicación caso práctico 1 . . . . .	140
7.3.2. Aplicación caso práctico 2 . . . . .	143
7.3.3. Aplicación caso práctico 3 . . . . .	145
7.3.4. Resumen de los casos prácticos presentados . . . . .	147

---



## 7.1. Introducción

En capítulos anteriores, se han desarrollado los procedimientos para el tratamiento de datos con el fin de diseñar y planificar rutas interiores. Esta será la base de aplicación para el caso de estudio en cuestión.

En este capítulo se va a exponer uno de los objetivos en la elaboración de este trabajo: la aplicación de un método de optimización de rutas interiores para un caso de estudio real.

La presente aplicación permitirá realizar una comparativa de las diferentes soluciones obtenidas por el algoritmo. Todo ello caracterizado por la distribución interior de un edificio existente.

## 7.2. Descripción del caso de estudio

El caso de estudio elegido, se realiza en la EII. El centro integra a la Escuela Politécnica Superior y la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de la ciudad de Málaga.

A continuación, se van a exponer una serie de casos prácticos donde para la realización de los mismos se han tenido en cuenta los capítulos anteriores: capítulos 4, *Optimización de recorridos* y Capítulo 6, Modelo de optimización propuesto.

## 7.3. Aplicación del modelo de optimización

La metodología desarrollada en el capítulo 6, sobre *Modelo de Optimización Propuesto*, se aplica a la EII. Tal y como se describió, la formulación está basada en un modelo que propone minimizar la distancia a recorrer. Condicionada, a su vez, por las respectivas restricciones y sus coeficientes de ponderación para el caso particular de los usuarios del caso práctico en cuestión.



Se puede buscar la distancia mínima a recorrer, pero no solo eso, también se pueden optimizar los recorridos teniendo en cuenta los tiempos de desplazamiento.

El diseño e implantación de este tipo de sistemas de posicionamiento interior reside en la creación de una red que conecte todas y cada una de las estancias del edificio.

Partiendo de los planos base facilitados, se introdujeron los diferentes **nodos** con el software ArcMap. Cada uno de los nodos forman parte de los cruces existentes entre los diferentes pasillos, puertas, y centroides de estancias que conforman el entramado de la red interior del edificio.

Obteniendo finalmente una red compuesta de los siguientes elementos:

Elemento	P. Baja	P. Primera	P. Segunda	P. Tercera
Aristas	297	342	543	377
Entradas	9	5	5	6
Escaleras	8	14	21	21
Centroides	80	84	191	112
Intersecciones	85	86	174	103
Pasos de puerta	91	125	232	132
Ascensores	3	3	3	3

Tabla 7.1: Elementos de interpretación la red de navegación EII. Elaboración propia.

De la unión de todos estos elementos se crea la red del edificio, y sobre ella se trazan los caminos, capaces de ofrecer comodidad, seguridad, accesibilidad e información a los usuarios.

### 7.3.1. Aplicación caso práctico 1

El **caso práctico 1**, se basa en la aplicación más sencilla del algoritmo a la hora de planificar y diseñar la red interior para el caso particular de la EII. Realizando un desplazamiento dentro de la misma planta.

#### Factores del caso práctico 1.1:

Nodo origen: Puerta exterior oeste del edificio. Planta Baja. Nodo destino: Departamento de Ingeniería Eléctrica. Planta Baja. Tipo de desplazamiento:

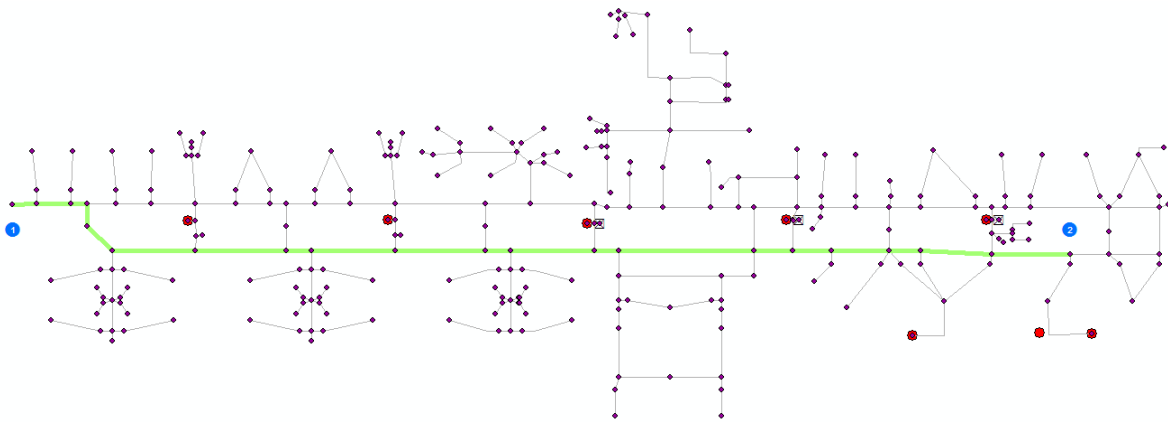


Figura 7.1: Caso práctico 1.1: Planta Baja. Longitud. Elaboración propia.

Horizontal-Planta Baja. Tipo de desplazamiento: A pie. **Longitud total del recorrido caso práctico 1.1. (Camino mínimo): 218,46 metros.**

#### Factores del caso práctico 1.2:

- Nodo origen: Puerta exterior oeste del edificio. Planta Baja.
- Nodo destino: Departamento de Ingeniería Eléctrica. Planta Baja.
- Tipo de desplazamiento: Horizontal-Planta Baja.
- Tipo de desplazamiento: En silla de ruedas.
- Restricción: Anchura de pasillos, premiando a las aristas más anchas y penalizando a las más estrechas, aplicando restricciones de accesibilidad.
- **Longitud total del recorrido caso práctico 1.2: 255,83 metros.**

#### Factores del caso práctico 1.3:

- Nodo origen: Puerta exterior oeste del edificio. Planta Baja.
- Nodo destino: Departamento de Ingeniería Eléctrica. Planta Baja.
- Tipo de desplazamiento: Horizontal-Planta Baja.
- Tipo de desplazamiento: En silla de ruedas.

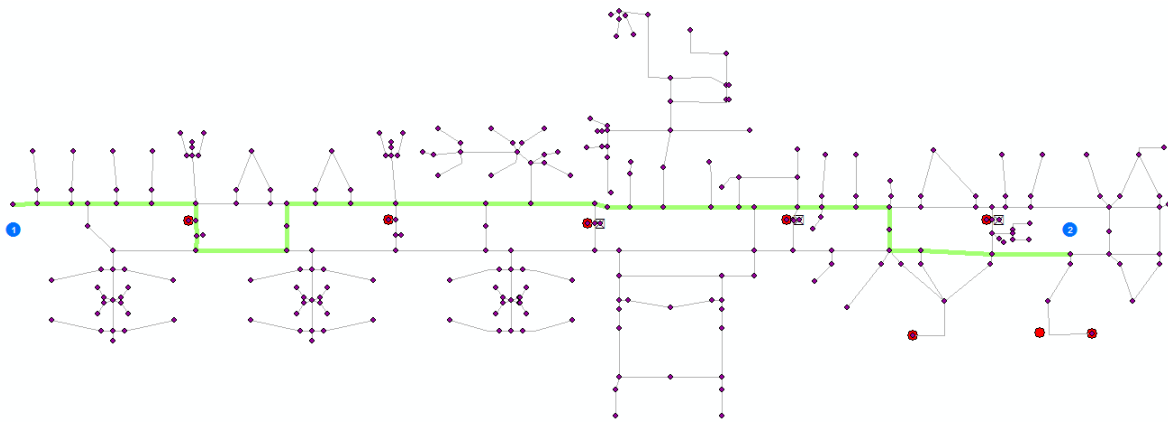


Figura 7.2: Caso práctico 1.2: Planta Baja. Longitud-Accesibilidad. Elaboración propia.

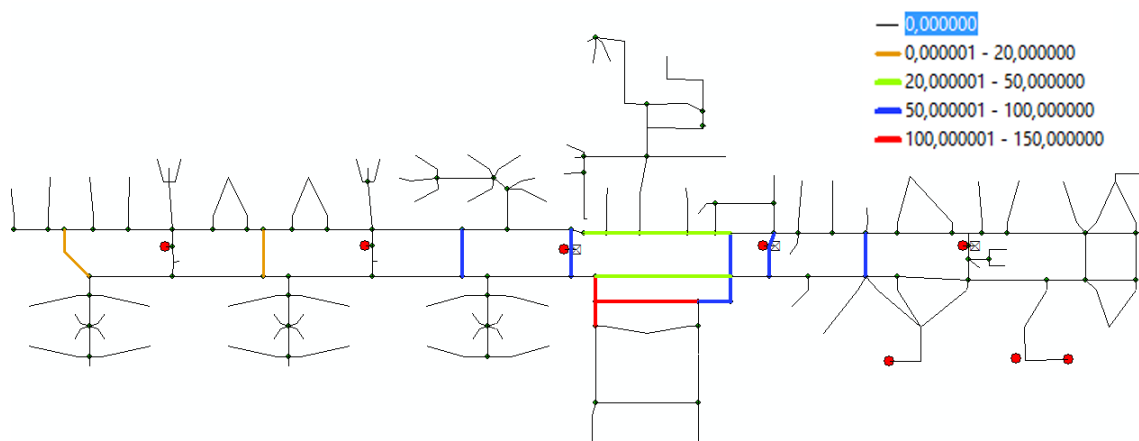


Figura 7.3: Caso práctico 1.3: Planta Baja. Aglomeración de personas. Elaboración propia.

- Restricción: Anchura de pasillos, premiando a las aristas más anchas y penalizando a las más estrechas.
- Aglomeración de personas: dado el estado de ocupación del edificio en un momento determinado. El ejemplo muestra la celebración de un feria en la zona centro del edificio.
- Longitud total del recorrido caso práctico 1.3: 301,03 metros.

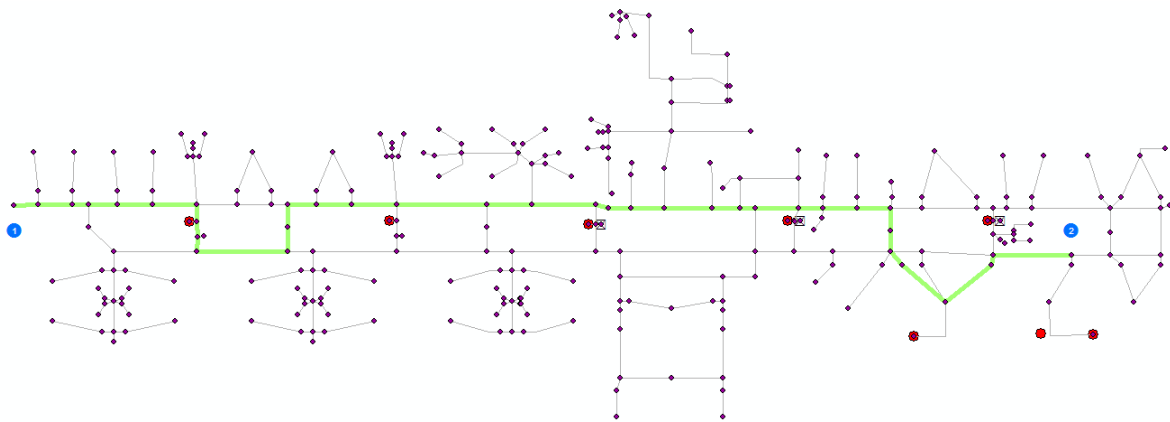


Figura 7.4: Caso práctico 1.3: Planta Baja. Longitud-Ancho de pasillo-Aglomeración. Elaboración propia.

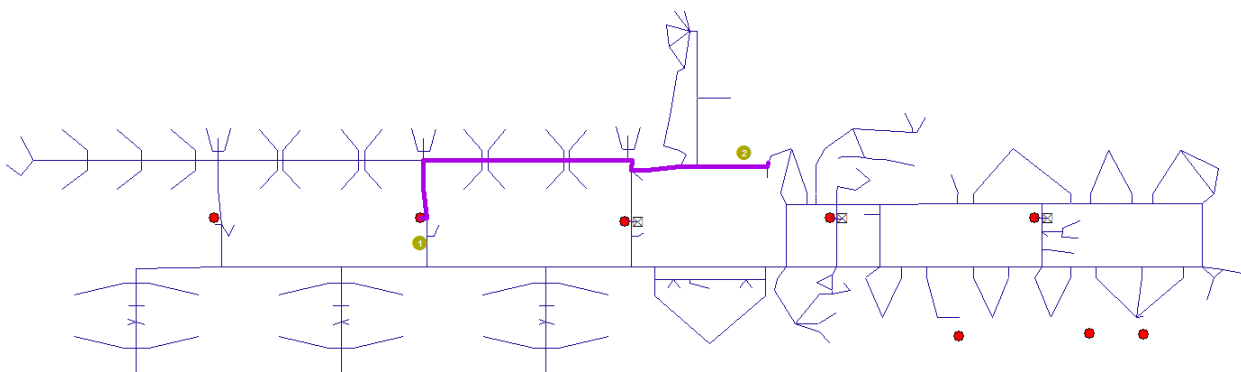


Figura 7.5: Caso práctico 2.1: Planta Primera. Longitud. Elaboración propia.

### 7.3.2. Aplicación caso práctico 2

El **caso práctico 2**, se basa en una aplicación comparativa de tiempos de recorridos.

#### Factores del caso práctico 2.1:

Nodo origen: Frente al ascensor numero 1. Planta Primera. Nodo destino: Sala de estudio (biblioteca). Planta primera. Tipo de desplazamiento: Horizontal-Planta Primera. Tipo de desplazamiento: A pie. **Longitud total del recorrido caso práctico 2.1 (Camino mínimo): 74,85 metros.**

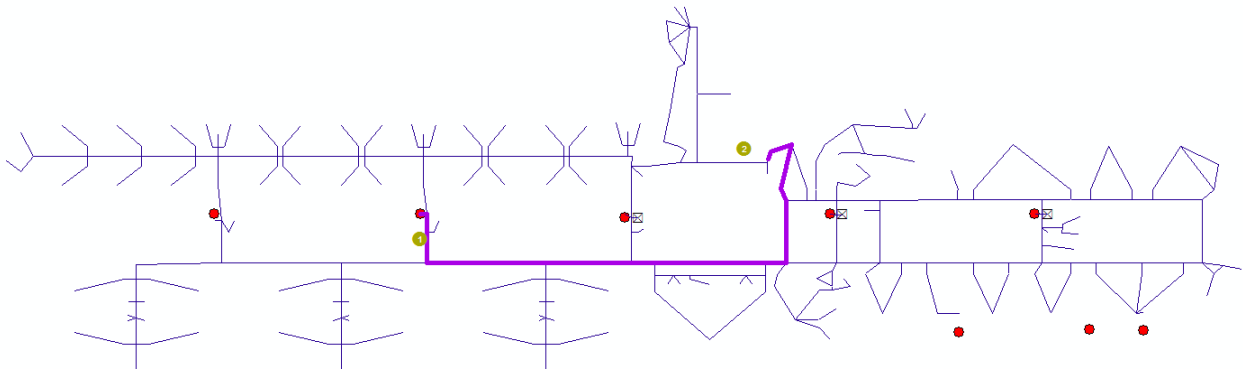


Figura 7.6: Caso práctico 1.2: Planta Primera. Longitud-Accesibilidad. Elaboración propia.

#### Factores del caso práctico 2.2:

- Nodo origen: Frente al ascensor numero 1. Planta Primera.
- Nodo destino: Sala de estudio (biblioteca). Planta primera.
- Tipo de desplazamiento: Horizontal-Planta Primera.
- Tipo de desplazamiento: En silla de ruedas.
- Restricción: Anchura de pasillos, premiando a las aristas más anchas y penalizando a las más estrechas, aplicando restricciones de accesibilidad.
- **Longitud total del recorrido caso práctico 2.2: 110,23 metros.**

#### Factores del caso práctico 2.3:

- Nodo origen: Frente al ascensor numero 1. Planta Primera.
- Nodo destino: Sala de estudio (biblioteca). Planta primera.
- Tipo de desplazamiento: Horizontal-Planta Primera.
- Tipo de desplazamiento: En silla de ruedas.
- Restricción: Anchura de pasillos, premiando a las aristas más anchas y penalizando a las más estrechas, aplicando restricciones de accesibilidad.

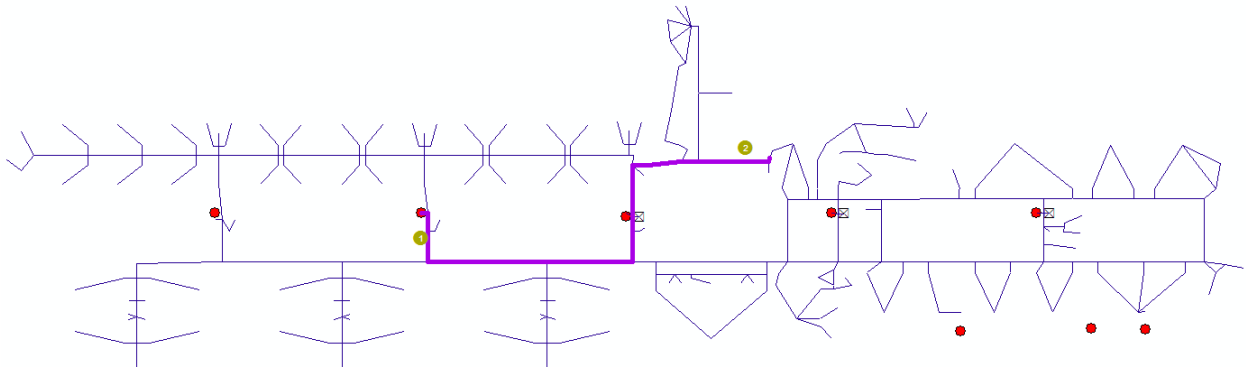


Figura 7.7: Caso práctico 1.3: Planta Baja. Longitud-Ancho de pasillo-Aglomeración. Elaboración propia.

- Aglomeración de personas: dado el estado de ocupación del edificio en un momento determinado. El ejemplo muestra la hora de salida de un acto celebrado en el auditorio de la escuela.
- Longitud total del recorrido caso práctico 2.3: 95,91 metros.

### 7.3.3. Resumen de los casos prácticos presentados

Los casos presentados en los apartados anteriores, son solo una pequeña muestra que los resultados que se obtienen de diga version beta. Siendo factible la realización infinidad de alternativas, aplicando todas y cada una de las restricciones pertinentes.



# 8

## Conclusiones y líneas de investigación futuras

### Índice

8.1. Conclusiones . . . . .	153
8.2. Líneas de investigación futuras . . . . .	153





## 8.1. Conclusiones

Como ya se ha mencionado anteriormente las aplicaciones para este sistema son infinitas, y solo está limitada por la mente humana. Por lo tanto, la contribución de esta tesis en las nuevas tecnologías de la comunicación y la información son incalculables.

## 8.2. Líneas de investigación futuras

Como primera propuesta se plasma la idea de crear una herramienta que optimice el número de balizas y su posicionamiento, en función de la geometría y materiales de construcción. Disminuyendo el número total de balizas de una red, instalando sólo las mínimas y necesarias. Obteniendo una red óptima, siempre velando por el correcto funcionamiento de la misma. La eliminación de puntos muertos o zonas de interferencias. En este caso, el aspecto económico es uno de los más importantes a tener en cuenta. Reduciendo en todo caso los gastos iniciales de implantación. Gracias a esta herramienta se podrán optimizar todas y cada una de las instalaciones donde se instale el Sistema PATHER de manera automática.

Por otro lado se plantea una búsqueda de protocolos y métodos de seguridad que garanticen una alta seguridad en el sistema de posicionamiento. Garantizar la seguridad de dicho sistema y servicios de localización en edificios inteligentes equipados con IOT y es el objetivo. Dicho mecanismo de seguridad debe ser fiable y rápido.



# Bibliografía

- [1]
- [2] Ericsson AB. Improving indoor app coverage. Agosto 2015.
- [3] Agencia Espacial Europea. [www.esa.int/esl/esa\\_in\\_our\\_country/spain](http://www.esa.int/esl/esa_in_our_country/spain), 25 de Abril de 2017.
- [4] F. Alizadeh-Shabdiz and K. Pahlavan. Estimation of position using wlan access radio propagation characteristics in a wlan positioning system, July 14 2010. EP Patent App. EP20,070,783,288.
- [5] IEEE Standards Association. *Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2012.
- [6] M. Ayyash, H. Elgala, A. Khreishah, V. Jungnickel, T. Little, S. Shao, M. Rahaim, D. Schulz, J. Hilt, and R. Freund. Coexistence of wifi and lifi toward 5g: concepts, opportunities, and challenges. *IEEE Communications Magazine*, 54(2):64–71, February 2016.
- [7] M. Hadi Baaj and Hani S. Mahmassani. An ai-based approach for transit route system planning and design. *Journal of Advanced Transportation*, 25(2):187–209, 1991.
- [8] Richard Bellman. Mathematical aspects of scheduling theory. *Journal of the Society for Industrial & Applied Mathematics*, 4(3):168–205, 1956.
- [9] Gilles Brassard and Paul Bratley. *Fundamentals of algorithmics*, volume 133350681. Prentice Hall Englewood Cliffs, 1996.
- [10] Partha Chakroborty. Genetic algorithms for optimal urban transit network design. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 18(3):184–200, 2003.
- [11] Boris V Cherkassky, Andrew V Goldberg, and Tomasz Radzik. Shortest paths algorithms: Theory and experimental evaluation. *Mathematical programming*, 73(2):129–174, 1996.
- [12] Código técnico de la Edificación. <https://www.codigotecnico.org>, 17 de Junio de 2017.
- [13] Federal Communications Commission et al. Wireless e911 location accuracy requirements. *Ps Docket*, (07-114), 2015.

- [14] F. Canalda P Cypriani, M. Lassabe and F Spies. Wi-fi-based indoor positioning: Basic techniques, hybrid algorithms and open software platform. *Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, 15-17 Sept.2010. October 2010, Montbéliard,France.
- [15] Junta de Andalucía. Documento técnico sobre el decreto andaluz de accesibilidad. *Conserjería de Igualdad y Bienestar Social*, 2012.
- [16] Diputación Provincial de Málaga. Ordenanza reguladora de accesibilidad del municipio. *Boletín oficial de la provincia de Málaga*, (35), 20.
- [17] Kalyanmoy Deb. *Multi-objective optimization using evolutionary algorithms*, volume 16. John Wiley & Sons, 2001.
- [18] Edsger W Dijkstra. A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische mathematik*, 1(1):269–271, 1959.
- [19] Andrew T Duchowski. Eye tracking methodology. *Theory and practice*, 328, 2007.
- [20] Ana Belén Pabón Dueñas, Salvador Merino Córdoba, Isidro Ladrón de Guevara, Javier Blázquez Parra, Beatriz ans Martinez, and Francisca Castillo Rueda. Dispositivo electrónico para guiado de personas en el interior de un edificio, 22 2013. ES1082629 U.
- [21] Matthias Ehrgott and Xavier Gandibleux. A survey and annotated bibliography of multiobjective combinatorial optimization. *OR-Spektrum*, 22(4):425–460, 2000.
- [22] Matthias Ehrgott and Xavier Gandibleux. Approximative solution methods for multiobjective combinatorial optimization. *Top*, 12(1):1–63, 2004.
- [23] A. El-Rabbany. *Introduction to GPS: The Global Positioning System*. Artech House mobile communications series. Artech House, 2006.
- [24] España. Real decreto 173/2010, de 19 de febrero, por el que se modifica el código técnico de la edificación, aprobado por el real decreto 314/2006, de 17 de marzo, en materia de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad. *Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado*, (61), 11.
- [25] F. Estapé. *Vida y Obra de Ildefonso Cerdá*. Atalaya (Barcelona). Ediciones Península S.A., 2001.
- [26] European Global Navitation Satellite Systems Agency. [www.gsa.europa.eu/european-gnss/what-gnss](http://www.gsa.europa.eu/european-gnss/what-gnss), 26 de Mayo de 2017.
- [27] Wei Fan and Randy B Machemehl. Optimal transit route network design problem: Algorithms, implementations, and numerical results. Technical report, 2004.
- [28] Federal Aviation Administration. U.S. Department of Transportation. [www.faa.gov/about/officeorg/headquartersoffices/ato/serviceunits/techops/navservices/gnss/waas/](http://www.faa.gov/about/officeorg/headquartersoffices/ato/serviceunits/techops/navservices/gnss/waas/), 2

- [29] K Figueredo. Connected living: Realising the market potential. <http://www.gsma.com/connectedliving/wpcontent/uploads/2012/05/1-Ken-Figueredo-Introduction.pdf>, accessed on Nov, 23:2014, 2012.
- [30] Klaus Finkenzeller. *RFID handbook: fundamentals and applications in contactless smart cards, radio frequency identification and near-field communication*. John Wiley & Sons, 2010.
- [31] Robert W. Floyd. Algorithm 97: Shortest path. *Commun. ACM*, 5(6):345–, June 1962.
- [32] G. J. Foschini and M. J. Gans. On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas. *Wireless Personal Communications*, 6(3):311–335, May 1998.
- [33] Antonio Miguel Mora García. *Resolución del Problema Militar de Búsqueda de Camino Optimo Multiobjetivo Mediante el Uso de Algoritmos de Optimización Basados en Colonias de Hormigas*. PhD thesis, PhD thesis, Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores, Universidad de Granada, Spain, 2009.
- [34] Beatriz Garzón. *Arquitectura bioclimática*. Nobuko, 2007.
- [35] Secretaría General. Memoria académica curso 2012-2013. vicerrectorado de estudiantes. Universidad de Málaga, 2013.
- [36] Fred Glover. Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. *Computers & operations research*, 13(5):533–549, 1986.
- [37] Gobierno de los Estados Unidos. [www.gps.gov](http://www.gps.gov), 21 de Abril de 2017.
- [38] title = <https://www.gsma.com/iot/> GSMA, year = 7 de Junio de 2017.
- [39] J.Y. Guigne, J.A. Stacey, and N.G. PACE. Ultrasonic in-building positioning system based on phase difference array with ranging, August 20 2009. US Patent App. 12/365,981.
- [40] Naresh Kumar Gupta. *Inside Bluetooth low energy*. Artech house, 2016.
- [41] F. Guzmán and S. Merino. *Domótica Gestión de la energía y gestión técnica de edificios*. Ra-Ma, 2015.
- [42] H Haas. Wireless data from every light bulb.
- [43] Darrall Henderson, Sheldon H Jacobson, and Alan W Johnson. The theory and practice of simulated annealing. In *Handbook of metaheuristics*, pages 287–319. Springer, 2003.
- [44] IGS International GNSS Service. [www.igs.org](http://www.igs.org), 21 de Abril de 2017.
- [45] Information and analysis center for positioning, navigation and timing. [www.glonass-iac.ru/en/index.php](http://www.glonass-iac.ru/en/index.php), 25 de Abril de 2017.

- [46] Andrzej Jaskiewicz. *Multiple objective metaheuristic algorithms for combinatorial optimization*. Citeseer, 2001.
- [47] Jet Propulsion Laboratory. California Institute of Technology. [www.gdgps.net](http://www.gdgps.net), 21 de Abril de 2017.
- [48] Jiong Jin, Jayavardhana Gubbi, Slaven Marusic, and Marimuthu Palaniswami. An information framework for creating a smart city through internet of things. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(2):112–121, 2014.
- [49] Jovicic . A and Qualcomm Flarion Technologies. <https://www.qualcomm.com/lumicast>, 27 de Abril de 2017.
- [50] V. Jungnickel, K. Manolakis, W. Zirwas, B. Panzner, V. Braun, M. Lossow, M. Sternad, R. Apelfrojd, and T. Svensson. The role of small cells, coordinated multipoint, and massive mimo in 5g. *IEEE Communications Magazine*, 52(5):44–51, 2014.
- [51] A.P.T. Kainulainen, K.H.J. Kalliola, V.V. RANKI, and H.P. Kauppinen. Indoor positioning system and method, October 14 2010. US Patent App. 12/740,634.
- [52] Ignacy Kaliszewski. Out of the mist—towards decision-maker-friendly multiple criteria decision making support. *European Journal of Operational Research*, 158(2):293–307, 2004.
- [53] Tom Lunney Jose Santos Derek Woods Kevin Curran, Eoghan Furey and Aiden Mc Caughey. An evaluation of indoor location determination technologies. *Journal of Location Based Services*, 5(2):61 – 78, 2011.
- [54] J. Kim and I. Lee. 802.11 wlan: history and new enabling mimo techniques for next generation standards. *IEEE Communications Magazine*, 53(3):134–140, March 2015.
- [55] M.Q. Kim and M.S. Jeong. Method and system for indoor positioning using mobile terminal, March 1 2007. US Patent App. 11/511,485.
- [56] Michio Kise, Noboru Noguchi, Kazunobu Ishii, and Hideo Terao. Development of the agricultural autonomous tractor with an rtk-gps and a fog. *IFAC Proceedings Volumes*, 34(19):99–104, 2001.
- [57] Eugene F Krause. *Taxicab geometry: An adventure in non-Euclidean geometry*. Courier Corporation, 2012.
- [58] Joseph B Kruskal. On the shortest spanning subtree of a graph and the traveling salesman problem. *Proceedings of the American Mathematical society*, 7(1):48–50, 1956.
- [59] Jin-Shyan Lee, Yu-Wei Su, and Chung-Chou Shen. A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, uwb, zigbee, and wi-fi. In *Industrial Electronics Society, 2007. IECON 2007. 33rd Annual Conference of the IEEE*, pages 46–51. Ieee, 2007.

- [60] Hugh Sing Liu and Grantham Pang. Positioning beacon system using digital camera and leds. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 52(2):406–419, 2003.
- [61] Hui Liu, Houshang Darabi, Pat Banerjee, and Jing Liu. Survey of wireless indoor positioning techniques and systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 37(6):1067–1080, 2007.
- [62] Christoph E Mandl. Evaluation and optimization of urban public transportation networks. *European Journal of Operational Research*, 5(6):396–404, 1980.
- [63] S Merino. Tomo ii: Invenciones. *BOPI Boletín Oficial de la Propiedad Industrial*, (3949):57–59, 2013.
- [64] Vivienda y suelo Ministerio de Fomento. Secretaría de Estado e Infraestructuras, transporte y Vivienda. Dirección General de Arquitectura. Documento básico sua, seguridad de utilización y accesibilidad. *Código Técnico de la Edificación*, (61), 11.
- [65] Cumbre mundial sobre la sociedad de la información. Declaración de principios. construir la sociedad de la información: Un desafío global para un nuevo milenio. *wsis-03/geneva/4-s*.
- [66] Dmitry Namiot. On indoor positioning. *International Journal of Open Information Technologies*, 3(3):23 – 26, 2015.
- [67] Dmitry Namiot and Manfred Sneps-Sneppe. Cat-cars as tags. In *Communication Technologies for Vehicles (Nets4Cars-Fall), 2014 7th International Workshop on*, pages 50–53. IEEE, 2014.
- [68] Dmitry Namiot and Manfred Sneps-Sneppe. On mobile bluetooth tags. *CoRR*, abs/1502.05321, 2015.
- [69] Ana Belén Pabón Due nas. Diseño de una red plc integrada para la tecnoaccesibilidad. Master’s thesis, Escuela Politécnica Superior. Universidad de Málaga, 2011.
- [70] National Oceanic and Atmospheric Administration. U.S. Department of Commerce. [www.ngs.noaa.gov/cors](http://www.ngs.noaa.gov/cors), 21 de Abril de 2017.
- [71] Navigation Center. U.S. Department of Homeland Security. [www.navcen.uscg.gov](http://www.navcen.uscg.gov), 21 de Abril de 2017.
- [72] title = <https://www.netspotapp.com/es/> NetSpot, year = 7 de Junio de 2017.
- [73] Nic Newman. Apple ibeacon technology briefing. *Journal of Direct, Data and Digital Marketing Practice*, 15(3):222–225, 2014.
- [74] Nuevo estudio revela como los consumidores utilizan las aplicaciones móviles comerciales. [www.puromarketing.com/96/22269/nuevo-estudio-revelan-como-consumidores-utilizan-aplicaciones](http://www.puromarketing.com/96/22269/nuevo-estudio-revelan-como-consumidores-utilizan-aplicaciones) 21 de Abril de 2017.



- [75] Dominic C O'Brien, Lubin Zeng, Hoa Le-Minh, Grahame Faulkner, Joachim W Walewski, and Sebastian Randel. Visible light communications: Challenges and possibilities. In *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2008. PIMRC 2008. IEEE 19th International Symposium on*, pages 1–5. IEEE, 2008.
- [76] Dennis Odijk. Fast precise gps positioning in the presence of ionospheric delays. *Publications on Geodesy*, 52, 2017.
- [77] V. Olgyay. *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Arquitectura y diseño: Ecología. Gustavo Gili, 1998.
- [78] Oliver. S. Appleinsider. <http://appleinsider.com/articles/16/01/18/ios-code-shows-apple-experimenting-with-ultra-fast-light-based-li-fi-wireless-data-for-future-iphones>, 18 de Enero de 2016.
- [79] Andrzej Osyczka. Multicriteria optimization for engineering design. *Design optimization*, 1:193–227, 1985.
- [80] J.A. Liñan R.J y Merino S. Pabón, A. Vera. *Actas del XII Congreso de Ingeniería del Transporte*.
- [81] Christos H Papadimitriou and Kenneth Steiglitz. *Combinatorial optimization: algorithms and complexity*. Courier Corporation, 1998.
- [82] S.N. Patel, G.D. Abowd, M.S. Reynolds, T. Robertson, and E. Stuntebeck. Sub room level indoor location system using wideband power line positioning, May 6 2010. US Patent App. 12/560,099.
- [83] N. Pavlidou, A. J. Han Vinck, J. Yazdani, and B. Honary. Power line communications: state of the art and future trends. *IEEE Communications Magazine*, 41(4):34–40, April 2003.
- [84] Charith Perera, Arkady Zaslavsky, Peter Christen, and Dimitrios Georgakopoulos. Context aware computing for the internet of things: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16(1):414–454, 2014.
- [85] Robert Clay Prim. Shortest connection networks and some generalizations. *Bell system technical journal*, 36(6):1389–1401, 1957.
- [86] Javier Boned Purkiss. *Málaga, el oficio de la arquitectura moderna (1968-2010)*. Geometría Asociación Cultural, 2011.
- [87] José María Hernando Rábanos, Luis Mendo Tomás, and José Manuel Riera Salís. *Comunicaciones móviles*. Editorial Universitaria Ramón Areces, 2015.
- [88] Samuel Raff. Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of the art. *Computers & Operations Research*, 10(2):63–211, 1983.

- [89] M Mazhar Rathore, Awais Ahmad, Anand Paul, and Seungmin Rho. Urban planning and building smart cities based on the internet of things using big data analytics. *Computer Networks*, 101:63–80, 2016.
- [90] G. y Serrano. V Salvat. *La revolución digital y la sociedad de la información*. Comunicación Social, 2011.
- [91] Bill N Schilit and Marvin M Theimer. Disseminating active map information to mobile hosts. *IEEE network*, 8(5):22–32, 1994.
- [92] E Fred Schubert, Thomas Gessmann, and Jong Kyu Kim. *Light emitting diodes*. Wiley Online Library, 2005.
- [93] Pooja Singal and R.s.chhillar. Article: Dijkstra shortest path algorithm using global position system. *International Journal of Computer Applications*, 101(6):12–18, September 2014.
- [94] D. Snoonian. Smart buildings. *IEEE Spectrum*, 40(8):18–23, Aug 2003.
- [95] Bradley S. Stewart and Chelsea C. White, III. Multiobjective a\*. *J. ACM*, 38(4):775–814, October 1991.
- [96] JE Stoter and Siyka Zlatanova. 3d gis, where are we standing? In *ISPRS Joint Workshop on Spatial, Temporal and multi-dimensional data modelling and analysis*, Québec, October, 2003, 2017.
- [97] The Institute of Electronics Engineers, Inc. IEEE. <http://www.ieee802.org/15/pub/ieee26> de Abril de 2017.
- [98] The University of Edinburgh. Latest Li-fi Research News. <http://www.lifi.eng.ed.ac.uk/lifi-news/2017-04-01-1855/comprehensive-summary-modulation-techniques-lifi>, 26 de Abril de 2017.
- [99] P.J.and Kumar C.B Thompson, T.J. Kline. *Bluetooth Application Programming with the Java APIs Essentials*. Elsevier Inc, 2008.
- [100] Universidad de Málaga UMA. <http://www.uma.es/cms/base/ver/section/document/7903/uma-transparente/>, 29 de Mayo de 2017.
- [101] Universidad de Málaga UMA. <http://www.uma.es/master-en-prevencion-de-riesgos-laborales/cms/menu/recursos-disponibles/>, 29 de Mayo de 2017.
- [102] Samsung Electronics. ETRI. VLCC. and University of Oxford. Tutorial visible light communication.
- [103] Roy Want. An introduction to rfid technology. *IEEE pervasive computing*, 5(1):25–33, 2006.
- [104] Wi-Fi Alliance. [http://http://www.wi-fi.org/downloads-registered-guest/wp\\_wi-fi\\_certified\\_wigig20161024.pdf/29706](http://http://www.wi-fi.org/downloads-registered-guest/wp_wi-fi_certified_wigig20161024.pdf/29706), 5 de Abril de 2017.

- 
- [105] King L Won, Kazim O Yildiz, and Handong Wu. System and method for detecting and locating access points in a wireless network, June 22 2004. US Patent 6,754,488.
  - [106] Faheem Zafari, Ioannis Papapanagiotou, and Konstantinos Christidis. Microlocation for internet-of-things-equipped smart buildings. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(1):96–112, 2016.
  - [107] Deze Zeng, Song Guo, and Zixue Cheng. The web of things: A survey. *JCM*, 6(6):424–438, 2011.
  - [108] K. ZHANG, A. LIM, W. ZHU, J. DENG, and C. CHE. Robust rfid-based system and method for precise in-house positioning, May 17 2007. US Patent App. 11/459,640.

## **Anexo I**

### **Tramitación del Modelo de Utilidad.**

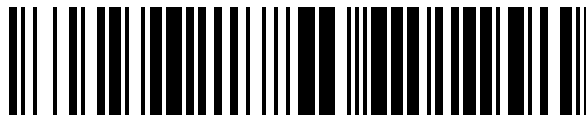


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **1 082 629**

21 Número de solicitud: 201330626

51 Int. Cl.:

**G05D 3/00**

(2006.01)

12

## SOLICITUD DE MODELO DE UTILIDAD

U

22 Fecha de presentación:

**22.05.2013**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**17.06.2013**

71 Solicitantes:

**MERINO CÓRDOBA, Salvador (16.7%)**  
**Escuela de Ingenierías, Universidad de Málaga**  
**29071 MALAGA (Málaga) ES;**  
**MARTINEZ DEL CASTILLO, Javier (16.7%);**  
**LADRÓN DE GUEVARA LÓPEZ, Isidro (16.7%);**  
**BLÁZQUEZ PARRA, Elidia Beatriz (16.7%);**  
**CASTILLO RUEDA, Francisca (16.7%) y**  
**PABÓN DUEÑAS, Ana Belén (16.7%)**

72 Inventor/es:

**MERINO CÓRDOBA, Salvador;**  
**MARTINEZ DEL CASTILLO, Javier;**  
**LADRÓN DE GUEVARA LÓPEZ, Isidro;**  
**BLÁZQUEZ PARRA, Elidia Beatriz;**  
**CASTILLO RUEDA, Francisca y**  
**PABÓN DUEÑAS, Ana Belén**

74 Agente/Representante:

**URÍZAR ANASAGASTI, Jesús María**

54 Título: **DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA GUIADO DE PERSONAS EN EL INTERIOR DE UN EDIFICIO.**

ES 1 082 629 U

## DESCRIPCIÓN

Dispositivo electrónico para guiado de personas en el interior de un edificio.

### 5 Objeto de la invención

La presente invención, como su propio título indica, se refiere a una red de componentes electrónicos cuya finalidad es guiar a cualquier persona a través del interior de un edificio mediante un sistema de navegación. La infraestructura de esta red está basada en dispositivos WIFI bajo PLC (Power Line Communications) que, enchufados en cada punto de corriente, crean un mallado de ondas suficientemente fino para triangular la posición del dispositivo móvil de navegación y guiar con precisión al usuario a su destino. El uso del PLC permite desarrollar una red privada de navegación que envía los datos a un servidor central y este, a su vez y a través de la misma red WIFI, provee al dispositivo móvil de la representación espacial del edificio y de su ubicación actual.

### 15 Antecedentes de la invención

En documento EP2022278 propone un método para estimar la posición haciendo uso de las características de radiopropagación del punto de acceso WLAN en el que se presta el propio servicio WLAN. Un sistema de servicios basado en ubicación, dispone de múltiples de puntos de acceso WIFI en un área objetivo, y estos puntos disponen a su vez de posiciones geográficas y de áreas de cobertura de señal. El método propuesto para la caracterización de los puntos de acceso WiFi comprende la determinación de la localización del punto de acceso WiFi a la que sigue la división del área de cobertura de señal entre al menos una sección y, por último, determinar las características de radiopropagación para cada una de las secciones. Esta caracterización supone, por tanto, la descripción fehaciente de un canal radio correspondiente al punto de acceso WiFi, y puede ser utilizada en un algoritmo de localización.

El documento US2007109125 presenta un sistema y un método de posicionamiento preciso en el hogar haciendo uso de la tecnología RFID (Radio Frequency Identification). El ambiente propio del hogar se divide en diferentes localizaciones y se reparten a lo largo de las distintas ubicaciones una serie de tarjetas RFID. En cada una de las localizaciones se leen patrones de eventos de RFID que son recolectados en el lector a modo de muestras. Se hace uso de reconocimiento de patrones y clasificación de los mismos, sobre todo cuando un vehículo, una persona u otro elemento en movimiento se acerca al entorno del lector de tarjetas RFID, de modo que pueda estimarse su localización. La precisión del sistema propuesto se acerca al metro. El método es además adaptativo gracias a la configuración de diferentes parámetros.

El documento US2007049291 propone un sistema para determinar la posición en interiores haciendo uso de terminales móviles, mediante la designación de múltiples localizaciones virtuales mientras el terminal está en movimiento, o bien mediante el seguimiento y localización de un terminal específico gracias a la métrica de localización de las características de la comunicación propias del propio terminal.

El documento US2010109842 presenta un sistema de localización en interiores basado en la utilización de la tecnología Power Line, así como dispositivos de inyección de señal en Power Line y receptores para generar información relativa a las posiciones de los mismos en una estructura domiciliaria, residencial o empresarial. La utilización de la tecnología Power Line permite alcanzar un nivel sub-estancia en la localización en interiores.

En el documento US2010259450 se propone un método sistémico de recepción de señales de radiofrecuencia que, al medir la atenuación de la potencia de señal entre la emitida y la recibida pueda inferir a qué distancia se encuentra el emisor del receptor de radiofrecuencia.

El documento US2009207694 reivindica un método para determinar la posición de dispositivos electrónicos móviles que incluyen emisión de pulsos acústicos desde la posición de dichos dispositivos móviles. Gracias al rango de fases entre los distintos puntos de emisión de pulsos puede establecerse una localización precisa de los emplazamientos en que se encuentran los dispositivos electrónicos.

### 55 Descripción de la invención

La presente invención está formada por componentes electrónicos situados en la red eléctrica conectados en los enchufes o puntos de corriente existentes de un edificio, que poseen una antena de emisión-recepción de señal WIFI que detectan la distancia a la que se encuentra un dispositivo móvil. A través de la tecnología PLC (Power Line Communications), estos dispositivos se comunican entre sí formando una red privada que comunica los datos a un servidor central situado al final de la red eléctrica (centro de transformación). El servidor calcula las posiciones relativas del usuario y se establece su ubicación precisa dentro del modelo del edificio mediante triangulación múltiple. A partir de aquí se devuelve la información sobre su ubicación y el plano de posición al dispositivo móvil del usuario para que éste conozca su ubicación, la ruta a seguir o cuanto le queda para llegar a su destino.

Físicamente este dispositivo está estructurado en un cajetín que se inserta en cada punto de corriente existente en el edificio, oculto por la tapa del terminal eléctrico convencional instalado en ese punto, ya sea un enchufe, interruptor o borna de conexión. En cada de estos cajetines se integran los siguientes circuitos:

- Un módulo de conexión a la red eléctrica de la que recibe energía y se conecta a la red PLC, a través de la que se comunica con el servidor central que controla el conjunto de dispositivos.
- Una antena de emisión-recepción de señal WIFI que detecta los dispositivos móviles de los usuarios para determinar la distancia a la que se encuentra en un momento dado.
- Una baliza Bluetooth que comunica con cada usuario, transmitiéndole la posición que indica el servidor central.
- Una serie de indicadores LED que señalan exteriormente el estado en el que se encuentran los diversos medios de conexión que ofrece cada uno de estos dispositivos.

Opcionalmente, en dicho cajetín se incluyen también los siguientes bloques con funciones más específicas:

- Una salida ethernet a través de la cual se puede conectar a la red PLC generada, normalmente para poder acceder al servidor central desde cualquier dispositivo.
- Un lector de tarjetas RFID que permite detectar el movimiento de cualquier objeto que incorpore una etiqueta de identificación RFID, como puede ser un carro para transporte de maletas, de limpieza, etc. incluyendo personas invidentes que pueden portar una tarjeta en su ropa o en un bastón, para recibir indicaciones precisas sobre el camino a seguir sin margen de error.
- Un puerto USB (23) que permite configurar el dispositivo, por ejemplo para identificarlo, proporcionarle sus coordenadas espaciales iniciales, etc.

### Descripción de las figuras

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de facilitar la comprensión de las características de la invención, se acompaña a la presente memoria descriptiva un juego de dibujos en los que, con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

La figura 1 representa una vista en perspectiva del montaje de este dispositivo en una de las cajas de conexión de un enchufe de la instalación eléctrica del edificio en el que se instala.

La figura 2 muestra un esquema en bloques funcionales de los componentes que integran este dispositivo y su interconexión.

### Realización preferente de la invención

Como se puede observar en las figuras referenciadas el dispositivo electrónico está destinado a su incorporación dentro de un sistema de guiado de personas en el interior de un edificio, que comprende una red PLC limitada al citado edificio, en la que un servidor central conectado a ella incorpora un software que permite calcular las posiciones relativas del usuario, estableciendo su ubicación y la devolviéndola al dispositivo terminal móvil del mismo, a través de cada uno de estos dispositivos.

Este dispositivo está integrado en un cajetín (2), insertado en cada punto de corriente (1) existente de un edificio, oculto por una tapa (3) del terminal eléctrico convencional instalado en ese punto. El punto (1) incorpora medios de acoplamiento mecánico en el interior de una caja registro no representada y medios eléctricos (11) que dependen del tipo de terminal, pudiendo tratarse de un enchufe, un interruptor o incluso una simple caja de bornas de conexión. Este punto (1) dispone de una tapa (3) que incorpora la conexión de enchufe correspondiente como la de la figura 1, el interruptor o simplemente es una tapa de una caja de conexión.

Cada uno de estos módulos (2) presenta una placa de contorno equivalente a los elementos (1) y (2), con un hueco interior que da paso a la conexión desde la tapa (3) si es necesaria y periféricamente una serie de circuitos que cumplen funciones que se especificarán más adelante.

Por su parte la tapa (3) presenta unas ventanas (31) y (32) en consonancia con las conexiones de tipo Ethernet (22) y USB (23) del módulo (2). Por los cantos dispone así mismo de varias ranuras (34) para refrigeración del dispositivo y frontalmente de una ventana en la que asoman varios LED (33) indicadores del funcionamiento de las diversas opciones del dispositivo. Esta ventana puede ser abierta o susceptible de cerrarse mediante una corredera.

En la figura 2 se observan los bloques funcionales incluidos en el módulo (2), que son los siguientes:



- Un medio de conexión a la red eléctrica de la que recibe energía y a través de la que se conecta a la red PLC, por la que comunica con el servidor central que controla el conjunto de dispositivos.
- 5
- Una antena de emisión-recepción de señal WIFI que detecta los dispositivos móviles de los usuarios para determinar la distancia a la que se encuentra en un momento dado.
  - Una baliza Bluetooth que comunica con cada usuario, transmitiéndole la posición que indica el servidor central.
- 10
- Una serie de LED que señalan exteriormente el estado en el que se encuentran los diversos medios de conexión que ofrece cada uno de estos dispositivos.
  - Una salida ethernet (22) a través de la cual se puede conectar a la red PLC generada.
- 15
- Un lector de tarjetas RFID que permite detectar el movimiento de cualquier objeto que incorpore una etiqueta de identificación RFID.
  - Un puerto USB (23) que permite configurar el dispositivo.
- 20
- Cada uno de estos dispositivos, a través de la tecnología PLC, se comunica con el resto formando una red privada que comunica los datos a un servidor central, que calcula las posiciones relativas del usuario y se establece su ubicación precisa dentro del modelo del edificio mediante triangulación múltiple. A partir de aquí el servidor devuelve al dispositivo correspondiente la información correspondiente a la ubicación del usuario y éste, a través de la baliza Bluetooth, transmite al terminal móvil del usuario esta información para que conozca su ubicación.
- 25
- Una vez descrita suficientemente la naturaleza de la invención, así como un ejemplo de realización preferente, se hace constar a los efectos oportunos que los materiales, forma, tamaño y disposición de los elementos descritos podrán ser modificados, siempre y cuando ello no suponga una alteración de las características esenciales de la invención que se reivindican a continuación:
- 30

## REIVINDICACIONES

- 1.- Dispositivo electrónico para guiado de personas en el interior de un edificio, que comprende una red PLC limitada al citado edificio, en la que un servidor central conectado a ella incorpora un software que permite calcular las posiciones relativas del usuario, estableciendo su ubicación y la devolviéndola al dispositivo terminal móvil del mismo, **caracterizándose** este dispositivo porque está integrado en un cajetín (2), insertado en cada punto de corriente (1) existente de un edificio, oculto por una tapa (3) del terminal eléctrico convencional instalado en ese punto, incorporando en cada unidad (2):
  - un módulo de conexión a la red eléctrica de la que recibe energía y se conecta a la red PLC, a través de la que se comunica con el servidor central que controla el conjunto de dispositivos;
  - una antena de emisión-recepción de señal WIFI que detecta los dispositivos móviles de los usuarios para determinar la distancia a la que se encuentra en un momento dado;
  - una baliza Bluetooth que comunica con cada usuario, transmitiéndole la posición que indica el servidor central;
  - una serie de indicadores LED (33) que señalan exteriormente el estado en el que se encuentran los diversos medios de conexión que ofrece cada uno de estos dispositivos.
- 2.- Dispositivo electrónico para guiado de personas en el interior de un edificio, según la reivindicación 1, **caracterizado** por que el cajetín (2) incorpora una salida ethernet (22) a través de la cual se puede conectar a la red PLC generada.
- 3.- Dispositivo electrónico para guiado de personas en el interior de un edificio, según la reivindicación 1, **caracterizado** por que el cajetín (2) incorpora un lector de tarjetas RFID que permite detectar el movimiento de cualquier objeto que incorpore una etiqueta de identificación RFID.
- 4.- Dispositivo electrónico para guiado de personas en el interior de un edificio, según la reivindicación 1, **caracterizado** por que el cajetín (2) incorpora un puerto USB (23) que permite configurar el dispositivo.

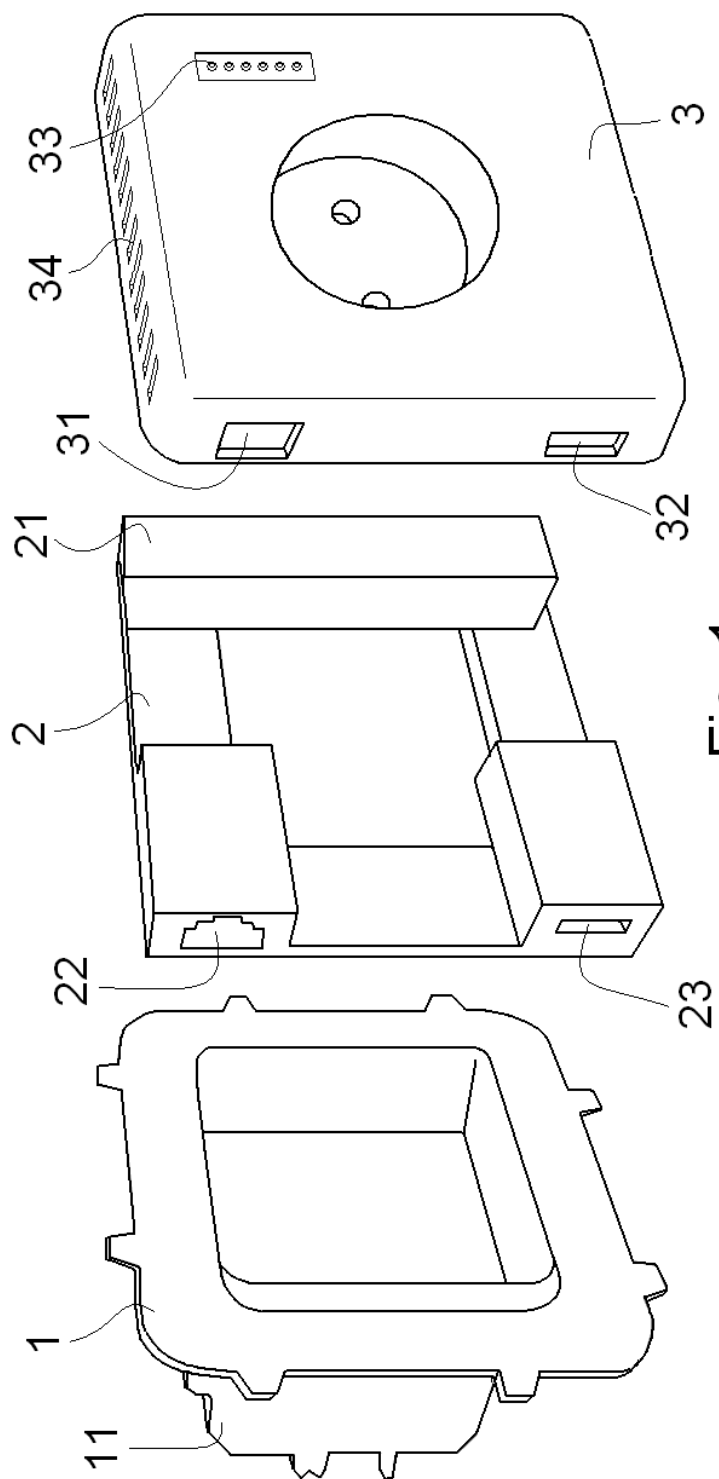
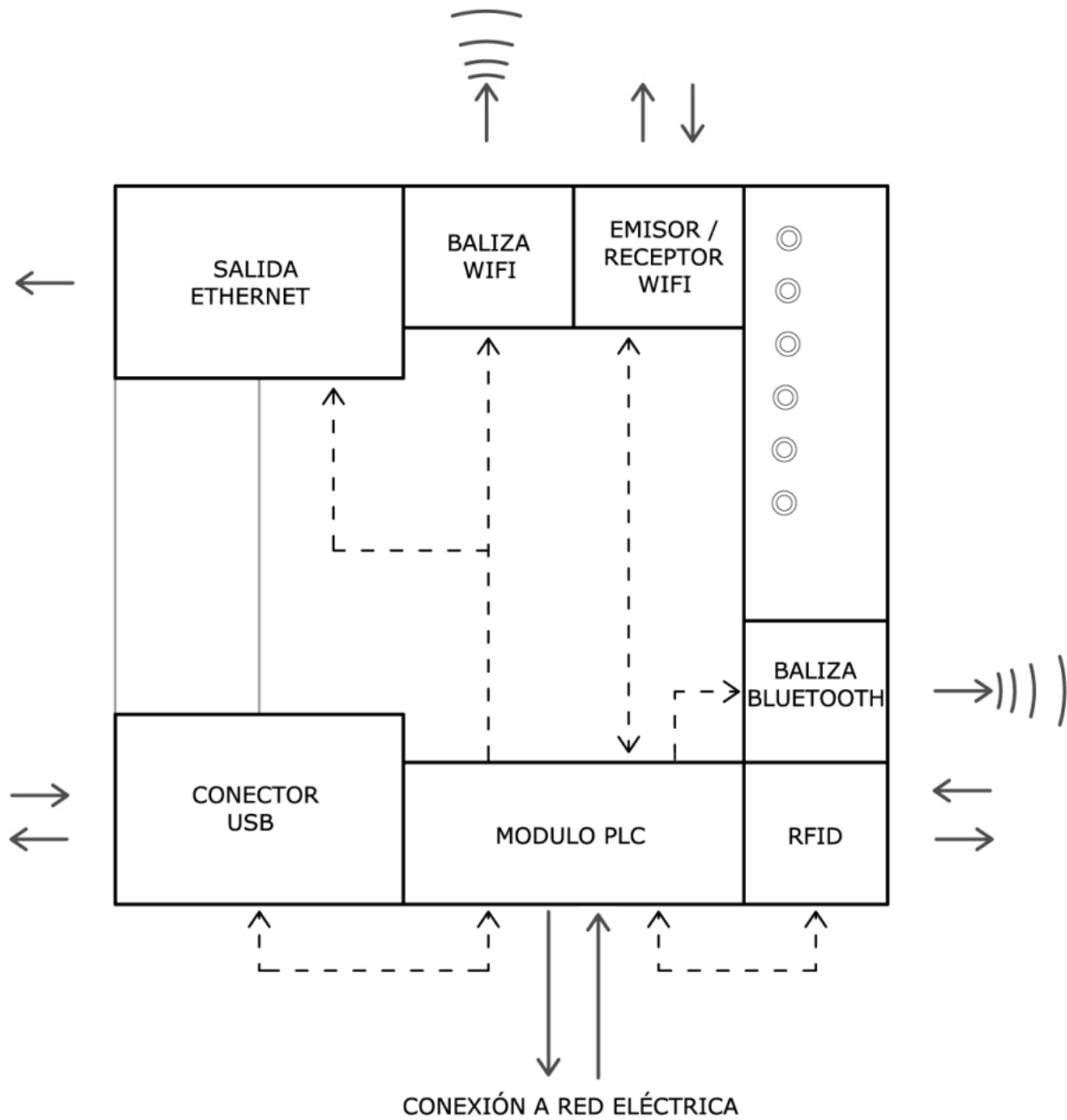


Fig. 1

Fig. 2



21 U 201300451 (6)

22 17-05-2013

51 F16M 11/00 (2006.01)

54 Soporte para sujeción erguida de un dispositivo de telefonía móvil

71 RIEGO GARCIA, Juan Manuel (100,0%)

74 LEHMANN NOVO, María Isabel

- 57 1. Soporte para sujeción erguida de un dispositivo de telefonía móvil, caracterizado porque está constituido por dos placas abisagradas entre sí, una de las cuales cuenta en su cara externa con un adhesivo adecuado para su fijación para el dispositivo de telefonía móvil, a través de la cara posterior de éste, mientras que la otra placa es basculante respecto de la anterior, de forma que a través del abisagramiento, se genere un ángulo entre ambas placas que permita la sujeción erguida del dispositivo de telefonía móvil sobre una superficie.
2. Soporte para sujeción erguida de un dispositivo de telefonía móvil, según reivindicación 1, caracterizado porque la placa (1) de fijación al dispositivo de telefonía móvil cuenta con un cajeadado en el que queda encastrada la placa basculante (2) en la posición de plegado del conjunto.
3. Soporte para sujeción erguida de un dispositivo de telefonía móvil, según reivindicaciones anteriores, caracterizado porque han previsto los medios necesarios en la bisagra para fijar un valor máximo de apertura de la placa (2) respecto de la placa (1).
4. Soporte para sujeción erguida de un dispositivo de telefonía móvil, según reivindicaciones anteriores, caracterizado porque las placas (1, 2) cuentan con medios complementarios de enclavamiento (4, 5) para mantener ambas placas inmovilizadas en posición de plegado de las mismas.

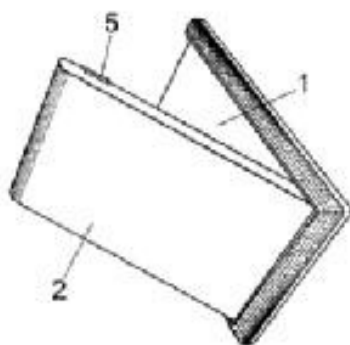


FIG. 1

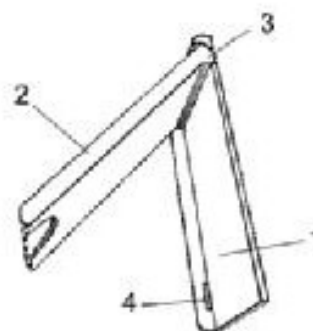


FIG. 3

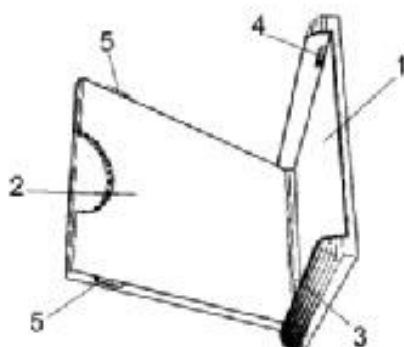


FIG. 2

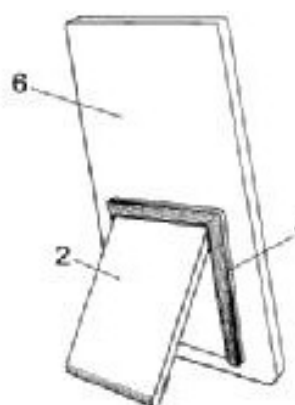


FIG. 4

11 ES 1082629 U

21 U 201330626 (1)

22 22-05-2013

51 **G05D 3/00** (2006.01)

54 **DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA GUIADO DE PERSONAS EN EL INTERIOR DE UN EDIFICIO.**

71 MERINO CÓRDOBA, Salvador (16,7%) y otros

74 URÍZAR ANASAGASTI, Jesús María

57 1. Dispositivo electrónico para guiado de personas en el interior de un edificio, que comprende una red PLC limitada al citado edificio, en la que un servidor central conectado a ella incorpora un software que permite calcular las posiciones relativas del usuario, estableciendo su ubicación y la devolviéndola al dispositivo terminal móvil del mismo, caracterizándose este dispositivo porque está integrado en un cajetín (2), insertado en cada punto de corriente (1) existente de un edificio, oculto por una tapa (3) del terminal eléctrico convencional instalado en ese punto, incorporando en cada unidad (2):

- un módulo de conexión a la red eléctrica de la que recibe energía y se conecta a la red PLC, a través de la que se comunica con el servidor central que controla el conjunto de dispositivos;
- una antena de emisión-recepción de señal WIFI que detecta los dispositivos móviles de los usuarios para determinar la distancia a la que se encuentra en un momento dado;
- una baliza Bluetooth que comunica con cada usuario, transmitiéndole la posición que indica el servidor central;
- una serie de indicadores LED (33) que señalan exteriormente el estado en el que se encuentran los diversos medios de conexión que ofrece cada uno de estos dispositivos.

2. Dispositivo electrónico para guiado de personas en el interior de un edificio, según la reivindicación 1, caracterizado porque el cajetín (2) incorpora una salida ethernet (22) a través de la cual se puede conectar a la red PLC generada.

3. Dispositivo electrónico para guiado de personas en el interior de un edificio, según la reivindicación 1, caracterizado porque el cajetín (2) incorpora un lector de tarjetas RFID que permite detectar el movimiento de cualquier objeto que incorpore una etiqueta de identificación RFID.

4. Dispositivo electrónico para guiado de personas en el interior de un edificio, según la reivindicación 1, caracterizado porque el cajetín (2) incorpora un puerto USB (23) que permite configurar el dispositivo.

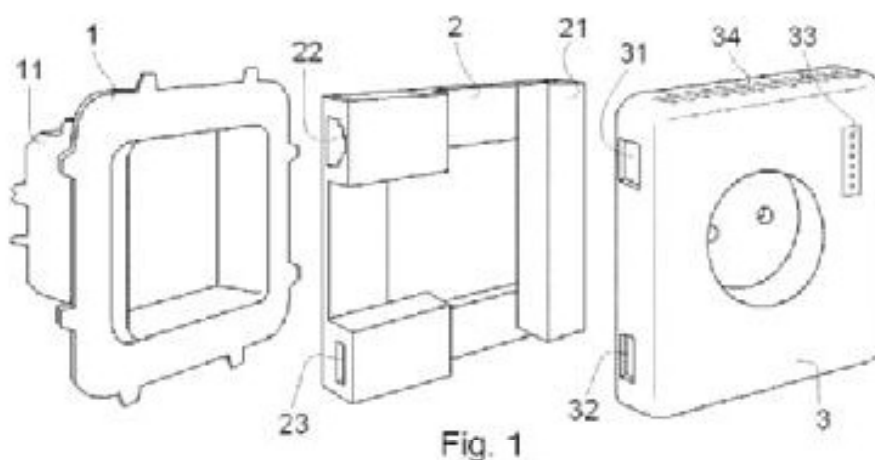
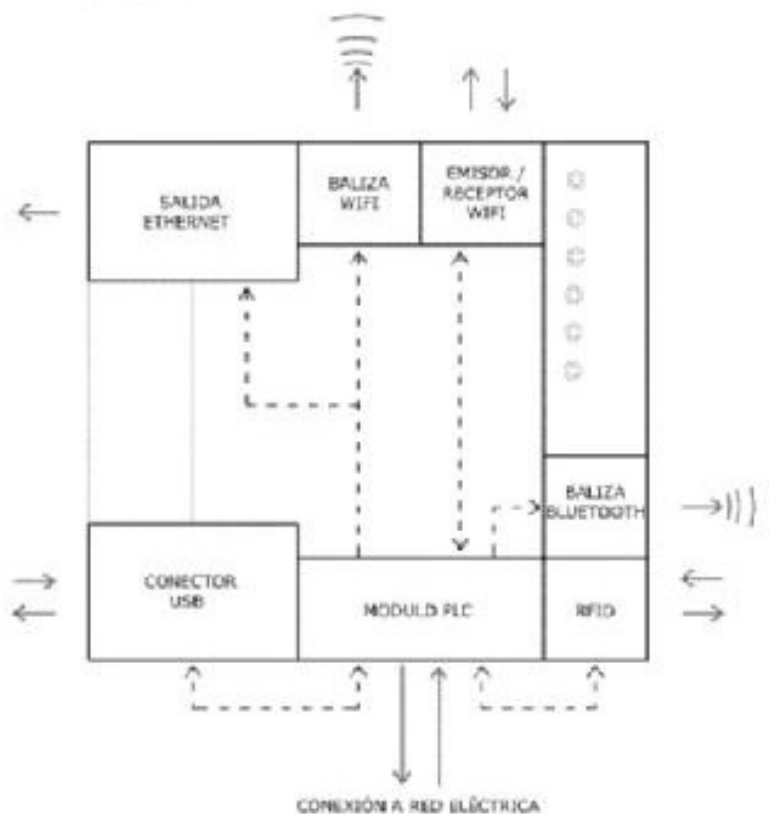


Fig. 2



11 ES 1082579 U

21 U 201330637 (7)

22 23-05-2013

51 A61M 19/00 (2006.01)

54 DISPOSITIVO PARA LA APLICACIÓN INDOLORA DE ANESTESIA LOCAL

71 ILZARBE QUEROL, Luis Maria (100,0%)

74 SASTRE NAVARRO, Javier

- 57 1. Dispositivo para la aplicación indolora de anestesia local, del tipo de los empleados en odontología, que comprende un primer cuerpo (1) esencialmente cilíndrico, caracterizado porque en su extremo superior se incorpora un segundo cuerpo (2) del que dimanan dos extensiones paralelas (3,4) atravesadas transversalmente por un eje (5) sobre el que gira un tercer cuerpo circular (6).
2. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1 en donde el cuerpo (1) incorpora una pluralidad de hendiduras helicoidales (1a) en su zona intermedia.
3. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1 en donde el cuerpo (2) se sitúa inclinado respecto del primer cuerpo (1) con una inclinación de entre 15° y 25°.

## **Anexo II**

### **Consulta Descriptiva y Gráfica de Datos Catastrales de Bien Inmueble.**





GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE HACIENDA,  
Y FUNCIÓN PÚBLICA

SECRETARÍA DE ESTADO  
DE HACIENDA

DIRECCIÓN GENERAL  
DEL CATASTRO

## REFERENCIA CATASTRAL DEL INMUEBLE

6845901UF6664N0001KU

## DATOS DESCRIPTIVOS DEL INMUEBLE

### LOCALIZACIÓN

CL PE-T.1 2

29010 MALAGA [MÁLAGA]

### USO PRINCIPAL

Cultural

### AÑO CONSTRUCCIÓN

2009

### COEFICIENTE DE PARTICIPACIÓN

100,000000

### SUPERFICIE CONSTRUIDA [m²]

76.017

## PARCELA CATASTRAL

### SITUACIÓN

CL PE-T.1 2

MALAGA [MÁLAGA]

### SUPERFICIE CONSTRUIDA [m²]

76.017

### SUPERFICIE GRÁFICA PARCELA [m²]

40.822

### TIPO DE FINCA

Parcela construida sin división horizontal

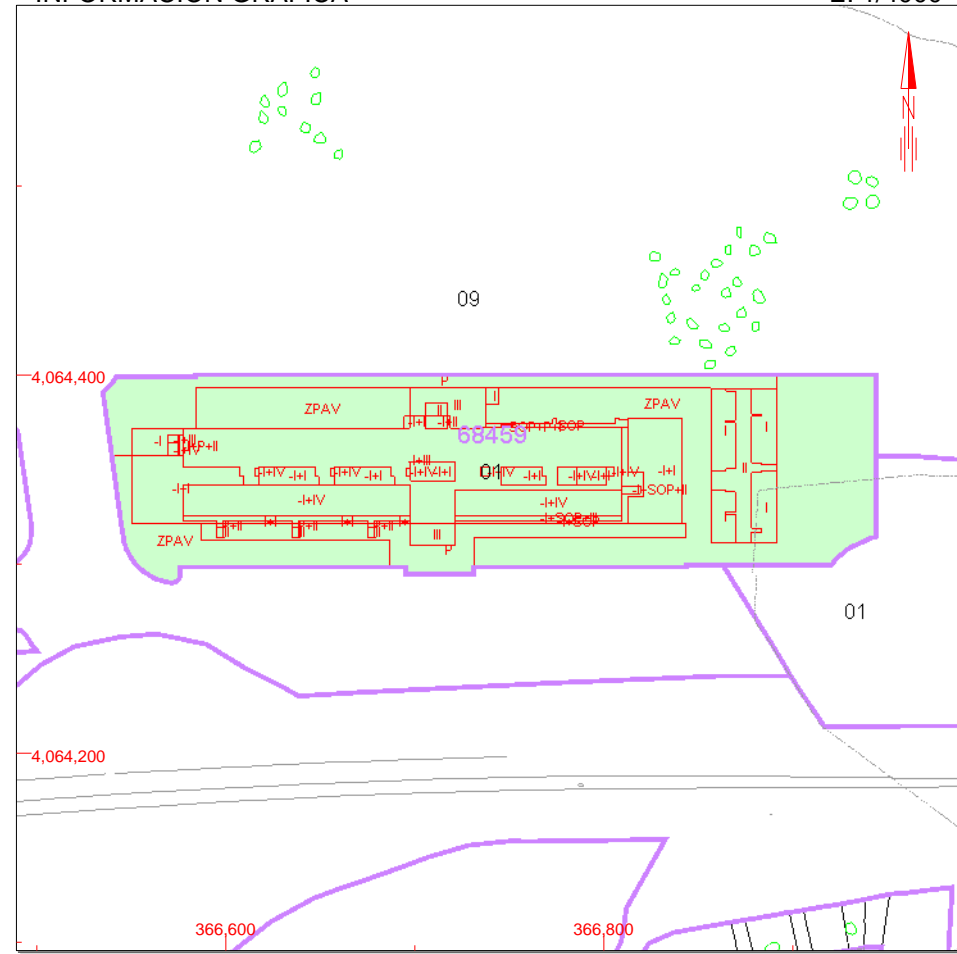
## CONSTRUCCIÓN

Destino	Escalera	Planta	Puerta	Superficie m²
ENSEÑANZA	1	00	01	14.847
ENSEÑANZA	1	01	01	12.272
ENSEÑANZA	1	02	01	11.203
ENSEÑANZA	1	03	01	3.565
APARCAMIENTO	1	-1	01	15.031
COMERCIO	1	00	01	67
OCIO HOSTEL.	1	00	01	684
SOPORT. 50%	Y	00	01	425
OBR URB INT	1	00	01	17.923

# CONSULTA DESCRIPTIVA Y GRÁFICA DE DATOS CATASTRALES DE BIEN INMUEBLE

## INFORMACIÓN GRÁFICA

E: 1/4000



Este documento no es una certificación catastral, pero sus datos pueden ser verificados a través del 'Acceso a datos catastrales no protegidos' de la SEC.

366,800 Coordenadas U.T.M. Huso 30 ETRS89

— Límite de Manzana  
— Límite de Parcela  
— Límite de Construcciones  
— Mobiliario y aceras  
— Límite zona verde  
— Hidrografía

Miércoles , 14 de Junio de 2017